



网络视角下软件产业 虚拟集群创新扩散模型研究

高长元, 王 京

哈尔滨理工大学 管理学院, 哈尔滨 150040

摘要: 基于传统创新扩散理论和方法, 从网络视角出发与传染病模型相结合, 探讨软件产业虚拟集群创新扩散机理。由于软件产业虚拟集群的地域分散性, 使其创新扩散活动更加复杂, 按照集群成员间联系的紧密程度, 将成员间创新扩散关系划分为邻居间的创新扩散、同一子集群内的创新扩散和不同子集群间的创新扩散3个层次。借鉴传染病传播思想, 考虑创新扩散潜伏期, 将软件产业虚拟集群成员分为潜在创新采纳成员、正在进行创新吸收和转化的成员、采用创新并且可将创新扩散给其他企业的成员和自主创新成员4种类型。基于传统的传染病模型, 构建软件产业虚拟集群创新扩散模型, 讨论不同参数对创新扩散过程的影响, 揭示集群创新扩散规律。研究结果表明, 邻居关系对创新扩散作用明显; 易染系数、潜伏系数越大, 创新扩散速度越快; 集群网络结构和扩散层次性对创新扩散成员数量、最大值出现的时间均有影响。最后以江苏虚拟软件园为例, 验证模型的正确性和适用性。

关键词: 软件产业虚拟集群; 创新扩散; 网络结构; 仿真

中图分类号: F263

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2014.04.011

文章编号: 1672-0334(2014)04-0123-10

1 引言

随着信息社会的到来, 软件产业迅速发展, 面对软件产业链的全球化布局和规避地理集中带来的锁定效应, 软件产业集群逐步突破地域限制, 利用先进的互联网技术, 整合分散在世界各地的软件企业及相关机构, 扩大集群规模, 最终形成跨地域的虚拟集群形式, 即软件产业虚拟集群 (software industrial virtual cluster, SIVC)^[1]。目前, 印度和中国各省建立了多园区及园区、基地型软件产业虚拟集群^[2]。原材料、运输成本低廉是传统产业群产生的根本原因, 与传统产业集群不同, 软件产业的高技术性及软件产品依赖于研发人员的创意等因素, 使技术创新和研发速度快成为SIVC发展的主要推动力。

SIVC中成员企业多为中小型软件企业, 并非每个企业都有自主研发能力, 中小企业加入集群大多希望借助集群平台通过知识、技术溢出效应吸收及采用创新技术, 并且一项创新最大限度的发挥潜在经济效应需要依靠创新扩散来实现。创新在SIVC中的扩散可以提升成员个体的经济效益及集群整体的

竞争能力, 成员间复杂的相互作用形成的网络关系是创新扩散的渠道。传统产业群依靠企业集聚效应进行精细化分工, 成员互动交流平等、频繁, SIVC的跨地域性和虚拟性特征促使成员间关系更加复杂, 空间演化结构更有别于传统地理集中的产业集群, 因此SIVC创新扩散规律和演化过程有待深入探索。本研究借鉴复杂网络理论, 描述SIVC网络结构, 分析SIVC创新扩散特征, 构建创新扩散模型, 探讨SIVC创新扩散演化规律, 并提出建议。

2 相关研究评述

国内外学者对于SIVC的研究尚处于起步阶段, 主要集中在SIVC形成的原因和必要性分析。SIVC是软件企业集聚发展的一种新模式, 软件产品的无形性和生产过程对物质资源要求不高等特征, 说明软件产业集群可以虚拟化发展, 先进的信息和通信技术保障SIVC正常运行。国外以印度22家软件园组建的SIVC为典型实例, 中国如上海和江苏等地以自主创新为目标、依托地方特色形成虚拟的软件园。

收稿日期: 2013-09-08 **修返日期:** 2014-04-29

基金项目: 国家自然科学基金(71072085, 71272191)

作者简介: 高长元(1960-), 男, 黑龙江鸡西人, 毕业于哈尔滨工程大学, 获管理学博士学位, 现为哈尔滨理工大学管理学院教授、博士生导师, 研究方向: 软件产业虚拟集群和决策支持系统等。E-mail: gaoc2002@126.com

创新扩散模型研究。从宏观和微观角度可以将创新扩散模型分为两类,宏观创新扩散模型主要代表为BASS模型。Turk等^[3]基于BASS模型估计欧洲宽带技术模仿者数量增长情况;王砚羽等^[4]针对模仿者进入市场的时间延迟和竞争环境因素改进BASS模型;胡知能等^[5-6]分别从价格策略和批量购买角度探讨赠送行为对产品扩散的影响。微观创新扩散模型认为潜在采纳者是否采用创新是一种决策行为。马蕾等^[7]将创新扩散视为随机性Markov过程,建立创新扩散模型并仿真;常悦等^[8]基于博弈理论探讨创新扩散源、中介与潜在采纳者间的讨价还价过程。由此看出宏观创新扩散模型侧重扩散速度,建立微分方程,大多进行采纳者数量的统计分析,并预测创新扩散趋势;微观创新扩散模型则重点考察扩散的规律和程度。

创新扩散模型在产业集群方向上的应用研究。Guseo等^[9]构建基于元胞自动机的创新扩散孵化模型;Kuandykov等^[10]基于BASS、Fisher-Pry模型,探讨社会网络创新扩散曲线;邵云飞等^[11]分析产业集群中两种创新的竞争扩散情况,发现创新及其扩散具有正反馈关系;李勇等^[12]利用SIR模型分析集群创新扩散,得出度大的节点起到领袖作用的结论;张京伟等^[13]基于BASS模型得出新技术采用最优时机应在市场最大潜力的50%之前;Kiss等^[14]采用传染病模型描述知识扩散演化过程。学者对产业集群创新扩散的研究主要集中在宏观模型和微观模型的应用方面,少数改进研究也只抓住产业集群创新扩散共性,使其区别于其他组织形态,但对于不同类型的产业集群的创新扩散特性及其创新扩散机理等的研究目前较为少见。

产业集群网络对创新扩散的影响。Dahl等^[15]认为集群内非正式交流对成员间创新扩散起重要作用;Østergaard^[16]认为知识在社会网络中流动加速了集群内创新融合和溢出扩散效应;黄玮强等^[17-18]认为网络结构影响集群扩散现象,与规则网络、随机网络和小世界网络相比,无标度网络下创新扩散速度最快;李守伟等^[19]研究网络结构、扩散规则对创新扩散路径长度及阈值等特征的影响;何铮等^[20]对比小世界网络和无标度网络对集群创新扩散脆弱性和稳定性的影响;Pegoretti等^[21]分析不同信息制度下网络结构对创新扩散的影响;孙耀吾等^[22]基于小世界网络研究企业联盟知识扩散特征,发现集聚系数增加和特征路径长度减少可以加快扩散效应。学者普遍认为成员间关系会对产业集群创新扩散过程产生影响,并基于复杂网络分析法研究创新扩散现象,但大多采用小世界网络、无标度网络等理想复杂网络模型描述产业集群网络结构,或者进行对比分析,没有区分不同产业集群类型及其不同网络结构特征。

从已有研究可以看出,目前国内外学者只是对软件产业集群虚拟化进行初步探讨,认为虚拟集群形式符合软件产业发展趋势,对SIVC运行机理、创新机制等方面还需深入剖析;创新扩散模型的改进与

应用一直是学术界研究的热点,宏观模型应用范围广泛,但缺乏个体异质性的考虑,微观模型的研究逐渐升温,多为抽象的演绎,实证难度较大;在产业集群创新扩散模型构建方面,多集中在BASS模型、元胞自动机模型和SIR模型。BASS模型无法区分创新扩散传播阶段与采用阶段,忽略了对理性个体互动关系的描述,多用于探讨产品扩散;元胞自动机模型在模拟网络关系方面较弱,且要求扩散状态变化必须是邻近的^[23];SIR模型是传染病模型的一种类型,可以基于社会关系实际特征构建实际网络,揭示传染病传播规律^[24],但针对产业集群创新扩散现象,部分学者只做了应用性研究,没有考虑创新扩散的时滞性等方面的改进。由于传统产业集群是相关企业及机构在某一区域的地理集中^[25],学者们对扩散曲线随时间变化探讨较多,忽略了创新扩散的空间性。SIVC是一种跨地域的产业集群形式,成员间关系更为复杂,因此需要充分考虑SIVC网络层次性对创新扩散产生的影响。

基于以上分析,本研究认为SIVC创新扩散演化具有时空完备性,考虑成员间近邻性、同一地域成员根植性及不同地域成员间的弱联系,刻画具有3层结构的集群网络,借鉴传染病传播思想,基于创新潜伏期及创新扩散时滞性特征将SIVC成员分为4种类型,构建SIVC创新扩散模型,揭示SIVC创新扩散动态过程及演化机理,采用仿真方法,分析各参数对创新扩散过程产生的影响,得出相应结论并验证模型的正确性,对SIVC创新扩散活动的开展具有一定的推动作用。

3 SIVC创新扩散特征及网络结构

3.1 SIVC创新扩散特征

本研究借鉴Rogers^[26]对创新扩散的定义,将SIVC创新扩散界定为创新在SIVC内部的广泛应用和推广。由于SIVC的跨地域性、依托互联网存在等特性,使SIVC创新扩散具有如下特征。

(1) 复杂网络性。SIVC中成员企业间存在复杂的相互关系,由这些复杂关系连接成的集群网络是SIVC创新扩散的重要渠道。网络的形成与扩展有利于成员获取创新资源,扩大了创新扩散的范围。不同的网络拓扑结构对创新扩散的速度和阈值产生不同的影响^[27]。

(2) 层次性。创新扩散是创新的累积效应,成员间的交互关系影响创新在集群中扩散^[28]。SIVC为成员企业提供适宜的合作伙伴,因此集群内部分企业存在长期合作关系,它们之间的创新扩散会优先以非契约的形式展开,本研究将具有这种关系的成员称之为邻居,即第1层次的创新扩散。SIVC成员构成不止有产权独立的企业或机构,还包括传统地理集群。中国各省市的虚拟软件园大多是省内各地软件园区或基地,通过公共服务平台形成物理上分散但网络集中的虚拟化的组织形式,地理上的接近性和根植性使创新易于在地理集群中产生扩散,即第2

层次的创新扩散。第3层次的创新扩散即为创新在SIVC内部不同地理集群间的扩散。

(3)二次创新性。由于要考虑软件产品的兼容性,SIVC中的软件企业在采用通用共性技术的基础上,依据客户需求及自身能力进行二次创新,这种创新活动加强了创新的应用性和普适性,对创新扩散具有促进作用。

(4)具有创新扩散潜伏期。二次创新是SIVC成员经常采用的一种创新方式,因此集群中的创新扩散不仅是创新信息的传播,更要考虑成员吸收、采用创新的过程。SIVC创新扩散具有时滞性,集群成员通过主动学习,把创新扩散效应转化成自身能力所需要的时间称作创新扩散潜伏期^[29]。

3.2 SIVC网络结构

近年来随着复杂网络理论研究的不断深入,其基本思想已逐渐渗透到经济管理、社会科学等领域。如何抽象出产业集群的网络结构、正确描述成员间关系也是学者讨论的热点。复杂网络理论将个体看作网络的节点,个体间关系抽象为节点间的连接边,SIVC成员间跨地域性质的直接和间接关系使SIVC网络结构更为复杂。SIVC创新扩散活动是基于成员间关系进行,将SIVC成员创新扩散关系作如下描述。假设集群由 N 个成员组成, G 为整个SIVC拥有子地理集群的数量,每个子地理集群的成员数量为 N' 。考虑SIVC创新扩散的层次性,每个成员与邻居的连接是第1层次的创新互动;设 k 为成员邻居的数量,成员与位于相同地理空间(即子集群网络中)其他成员的连接是第2层次的创新互动;位于不同子集群网络中的成员之间的联系是第3层次的创新互动。图1举例描绘SIVC网络结构,将SIVC成员的位置分布用二维平面图表示。

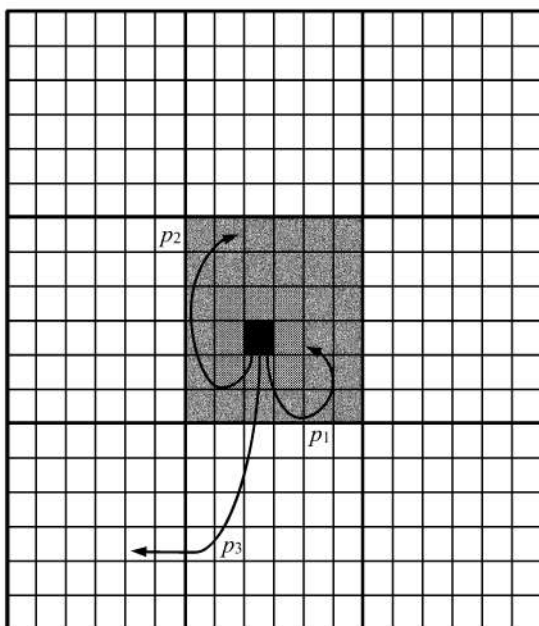


图1 SIVC创新扩散网络结构图
Figure 1 Network Structure of SIVC Innovation Diffusion

图1中每1个小方格代表1个SIVC成员节点,该SIVC中共有324个成员,即 $N = 324$ 。SIVC由若干个子地理集群组成,图1中间带背景的方格构成一个子地理集群,子集群网络中成员数量为 $N' = 36$,图1中类似子地理集群的数量为9个,即 $G = 9$ 。图1中黑色实心方格节点代表SIVC中创新扩散源成员节点,该成员有8个近邻(周围的黑点背景方格)。基于上文对创新扩散层次的划分,如图1所示,扩散源成员节点对近邻的创新扩散的传播概率为 p_1 ,图中 p_1 指向为近邻区域。与扩散源成员节点同一子地理集群的二级邻居(灰色区域)创新扩散的传播概率为 p_2 ,图中 p_2 指向为灰色区域。扩散源成员节点与其他成员(空白方格)创新扩散的传播概率为 p_3 ,图中 p_3 指向为空白区域。

4 SIVC创新扩散模型

4.1 SIVC创新扩散成员类型及状态间转化

传染病模型描述疾病在人群中扩散传播引起更多群体感染的现象,这与创新在集群中的扩散传播过程相似。典型的传染病模型将人群抽象为易染态 S 、感染态 I 和免疫态 R 共3种状态,常见的传染病模型主要有 SI 模型、 SIS 模型和 SIR 模型3种。 SI 模型往往用来描述无法治愈的疾病,即 S 类人群一旦被传染,就成为新的传染源,将病毒传播出去; SIS 模型在 SI 模型的基础上加入治愈机率,使 I 类人群有机会转化成 S 类人群,可用于描述治愈再复发的疾病; SIR 模型在 SI 模型的基础上加入 I 类人群转化成 R 类人群的过程, R 类人群既不会传染别人也不会被传染。

考虑SIVC创新扩散的时滞性,将成员分为4种类型。①潜在创新采纳的成员,即易于接收创新的成员(S);②正在进行创新吸收和转化的成员(IN);③采用创新并且可将创新扩散给其他企业的成员(IL);④自主创新成员(R),即不接收创新的成员。在实际运作中,成员类型不是固定不变的,只是在特定时期内某一成员以某种状态为主。某一时刻,成员所处的状态取决于他们之前的状态和与之具有创新关系或随机接触其他成员的状态。图2给出SIVC创新扩散过程,SIVC中的4类成员可分别对应于传染病传播时的4类人群, S 类成员可以看作易感人群, IN 类成员可以看作已被病毒传染但尚未表现出感染症状的人群, IL 类成员可以看作具有传染性的感染人群, R 类成员可以看作免疫人群。由此可知,SIVC创新扩散过程可以分为感染期、潜伏期、扩散期和恢复期4个阶段。感染期指 S 类成员接收外界创新信息转化为 IN 类成员的时期;潜伏期指 IN 类成员进行创新并实现,转化为 IL 类成员的时期;扩散期指 IL 类成员将创新扩散给其他成员,自身转化为 R 类成员的时期;恢复期指 R 类成员不参与创新扩散的时期。每一类型成员都会以一定的概率转化为下一状态成员,随着时间发展,该过程不断循环。本研究用以下参数来描述每一时间步内成员在不同状态间转换的可能性。 W_{S-IN} 为潜伏系数,即潜在创新采纳成员接

收新的创新信息的概率; $W_{IN \rightarrow IL}$ 为扩散系数, 即成员采纳创新并进行扩散的概率; $W_{IL \rightarrow R}$ 为免疫系数, 即成员不断提高自身创新能力, 由创新采用者变成自主创新者的概率; $W_{R \rightarrow S}$ 为易染系数, 即自主创新能力不足时成员希望吸收外界扩散创新的概率。

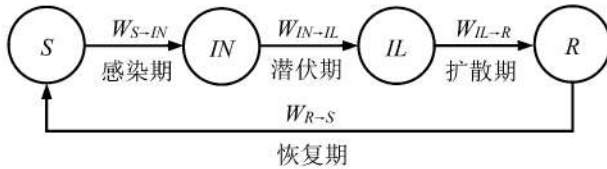


图2 SIVC 创新扩散过程

Figure 2 Innovation Diffusion Process of SIVC

借鉴传染病理论模型, SIVC 创新扩散过程可以用如下方程组描述^[30], 即

$$\begin{cases} \frac{dP_S(t)}{dt} = W_{R \rightarrow S}P_R(t) - W_{S \rightarrow IN}P_S(t)P_{IN}(t) \\ \frac{dP_{IN}(t)}{dt} = W_{S \rightarrow IN}P_S(t)P_{IN}(t) - W_{IN \rightarrow IL}P_{IN}(t) \\ \frac{dP_{IL}(t)}{dt} = W_{IN \rightarrow IL}P_{IN}(t) - W_{IL \rightarrow R}P_{IL}(t) \\ \frac{dP_R(t)}{dt} = W_{IL \rightarrow R}P_{IL}(t) - W_{R \rightarrow S}P_R(t) \end{cases} \quad (1)$$

其中, P_X 为成员在 t 时刻所处状态 X 改变的率, $X = S, IN, IL, R$ 。

4.2 SIVC 创新扩散层次性函数

为了区分成员之间交互的有效性, 在不同层次上利用 3 个方程描述 SIVC 创新扩散的可能性。第 1 层次创新扩散, 考虑到建立长期关系比随机接触更为有效, 假定 1 个成员接收创新扩散信息的概率是与正在进行创新扩散邻居数量有关的 1 个非线性函数^[31], 即

$$p_1 = W_{S \rightarrow IN} \sqrt{\frac{k_{IL}}{k}} \quad (2)$$

其中, k_{IL} 为在状态 IL 的邻居数量。

第 2 层次创新扩散关系的建立是通过在同一个

子集群中的 D 个成员间随机接触, 其概率为

$$p_2 = W_{S \rightarrow IN} \left(\frac{D_{IL}}{D}\right)^2 \quad (3)$$

其中, D_{IL} 为在子集群中进行创新扩散的成员数量。

第 3 层次创新扩散关系的建立是任意地从整个 SIVC 中选择那些不认识对方的成员间的随机接触, 造成这种接触的概率并不依赖于子集群的成员个体, 其形式为

$$p_3 = W_{S \rightarrow IN} \left(\frac{N_{IL}}{N}\right)^2 \quad (4)$$

其中, N_{IL} 为在整个集群中创新扩散成员的数量。

5 仿真分析

5.1 成员关系对创新扩散的影响

假设 SIVC 创新扩散演化的初始条件为有一个成员处在 IL 状态, 且随机分布在集群中, 其余成员均处在 S 状态。同步动力学假设成员在每个时间步只能改变一次状态, 依据熟悉程度, 以 p_1, p_2, p_3 顺序依次计算创新扩散在各层级的影响。

图 3 给出随着时间变化 3 个层次的创新互动对新增创新采纳成员数量的影响。可以看出, 在 $20 < t < 40$ 情况下, 新增创新采纳成员的数量来源于邻居的连接, 大约 6 倍于第 3 层次的创新扩散关系, 也多于第 2 层次的创新扩散关系的建立。在创新扩散的第 1 阶段, 创新采纳成员数量的增加主要来源于与邻居、子集群中的成员 (概率 p_1 、概率 p_2) 相互作用, 只有在创新采纳成员增长到一定数量时, 不在同一地域的成员 (概率 p_3) 的影响才逐渐变得重要。曲线 a, b, c 分别描述创新扩散来源于邻居、子集群中的成员接触及与 SIVC 中其余成员的随机接触。设定参数 $N = 2500, N' = 100, W_{S \rightarrow IN} = 0.500, W_{IN \rightarrow IL} = 0.500, W_{IL \rightarrow R} = 0.100, W_{R \rightarrow S} = 0.005$ 。

5.2 成员转化率对创新扩散的影响

(1) 易染系数对创新扩散的影响

研究 $W_{R \rightarrow S}$ 对 SIVC 创新扩散的影响, 将 $W_{R \rightarrow S}$ 的取值分别设定为 0.005 和 0.500, 观察创新扩散过程中各状态成员数量随易染系数取值不同的变化情况, 相应的仿真结果见图 4(a) 和 (b)。其余参数值为 $N = 2500$,

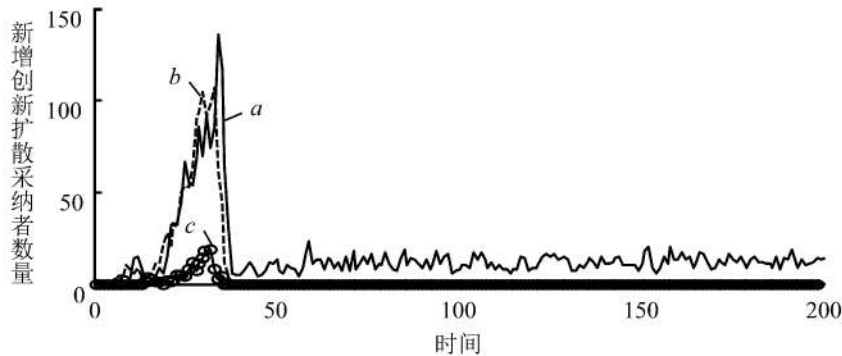


图3 SIVC 创新扩散曲线(每个时间步新增创新扩散采纳者的数量)

Figure 3 Innovation Diffusion Curves of SIVC

(The Number of Newly Innovation Diffusion Adopters Per Time Step)

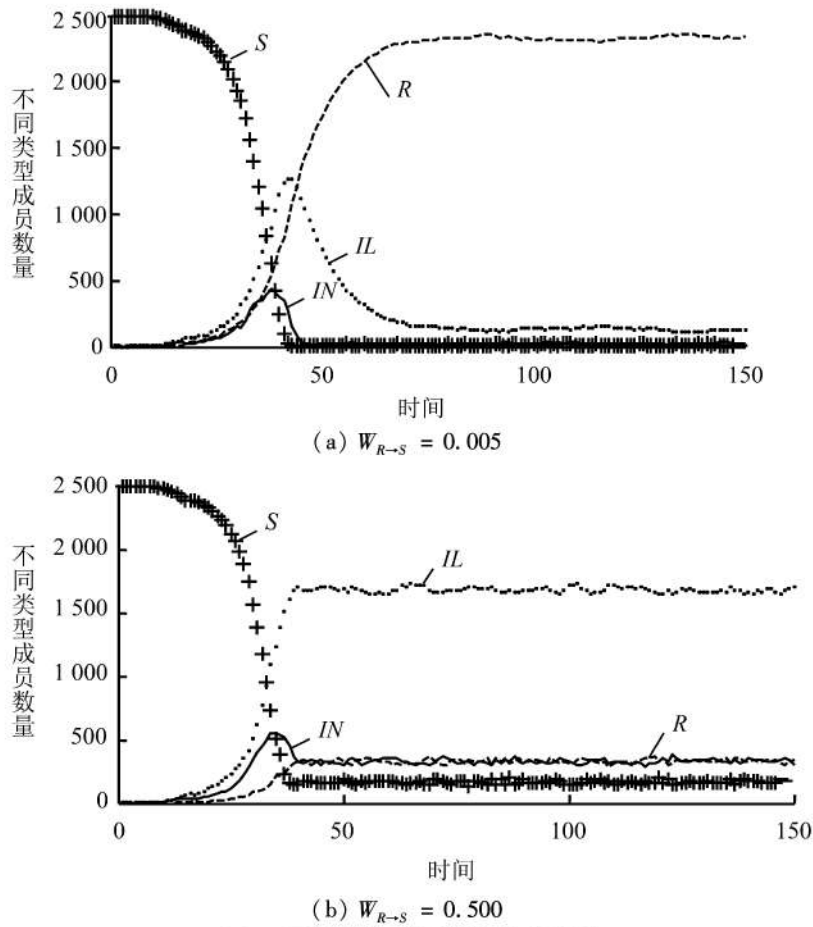


图4 易染系数对创新扩散的影响

Figure 4 Tingible Coefficient's Influence on Innovation Diffusion

$N' = 100, W_{S \rightarrow IN} = 0.500, W_{IN \rightarrow IL} = 0.500, W_{IL \rightarrow R} = 0.100$ 。

对比图4(a)和图4(b)可知,随着易染系数 $W_{R \rightarrow S}$ 的增加, S 曲线下降趋势逐渐加快,演化的最终结果逐渐升高,但始终保持在较低水平。当 $W_{R \rightarrow S}$ 取值较高时,说明SIVC成员创新欲望强烈,易于接收创新信息,随着潜伏成员和扩散成员的增加,易感成员的数量迅速衰减,并最终趋于平稳。 IN 曲线和 IL 曲线的最高值随着 $W_{R \rightarrow S}$ 的增加而升高,且最终稳定点也逐渐提高, IL 曲线的变化较为明显。随着 $W_{R \rightarrow S}$ 的增加, R 曲线上升的越慢,且最高值越小,采取积极创新策略的成员越多,免疫成员数量越少。

由以上分析可以看出,易染系数的大小影响SIVC创新扩散过程,在其他参数固定不变的情况下,成员由免疫状态向易感状态转换的概率 $W_{R \rightarrow S}$ 取值越大,单位时间内将有越多的免疫成员成为易感成员,在创新扩散时,将有更多的成员加入到创新扩散活动,从而加速创新的传播。 $W_{R \rightarrow S}$ 取值越小,单位时间内转化为易感成员的免疫成员数目越少,并且当达到一定临界值后,易感成员数量会降为0,相对应的免疫曲线的上升趋势也会减缓。

(2) 潜伏系数对创新扩散的影响

为了研究潜伏系数 $W_{S \rightarrow IN}$ 对SIVC创新扩散的影

响,将 $W_{S \rightarrow IN}$ 的取值设定为0.100,仿真结果见图5。观察创新扩散过程中各状态成员数量随潜伏系数取值不同的变化情况,其余参数值为 $N = 2500, N' = 100, W_{IN \rightarrow IL} = 0.500, W_{IL \rightarrow R} = 0.100, W_{R \rightarrow S} = 0.005$ 。

图5给出不同参数值对应的 S, IN, IL 和 R 随时间变化的演化情况。对比图5和图4(a)可以看出,不同 $W_{S \rightarrow IN}$ 取值下, S 曲线都是随着时间的推移下降趋势先慢后快,最后趋于0; IN 曲线和 IL 曲线都是先增加达到峰值后再减少直到趋于稳定状态; R 曲线随着时间的推移增长趋势先慢后快,最后趋于稳定,稳定值大致相同,表明最终SIVC成员成为免疫者而不会继续进行创新扩散。

$W_{S \rightarrow IN}$ 取值越大, S 曲线降低的越快,易感成员数量减少的越快,平稳状态出现的时间越早。这表明,当成员不想创新时就不会关注创新信息,因此继续保持在易感状态;相反,当创新信息价值较高时,成员会在短接收信息,从而变成潜伏成员。其后再经历一段信息扩散过程, SIVC 中越来越多的成员获得该创新信息,因此处在潜伏状态、扩散状态和免疫状态的成员数量逐渐增多,易感状态的成员数量下降趋势更明显。

$W_{S \rightarrow IN}$ 值越大,对应的 IN 曲线开始增加的越快,峰

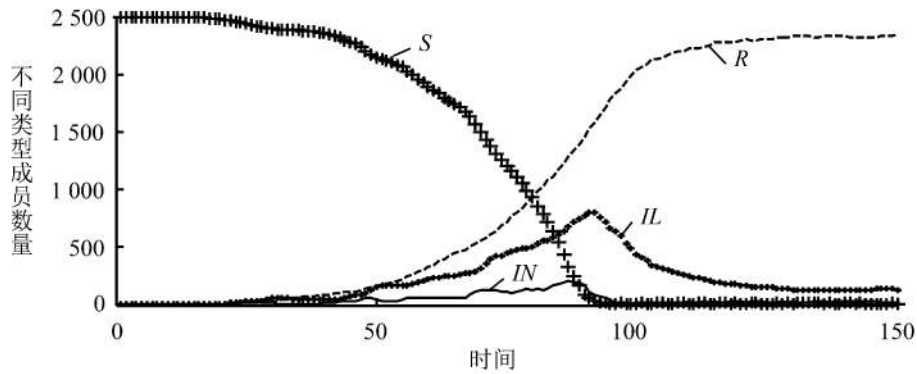


图5 潜伏系数对创新扩散的影响

Figure 5 Latent Coefficient's Influence on Innovation Diffusion

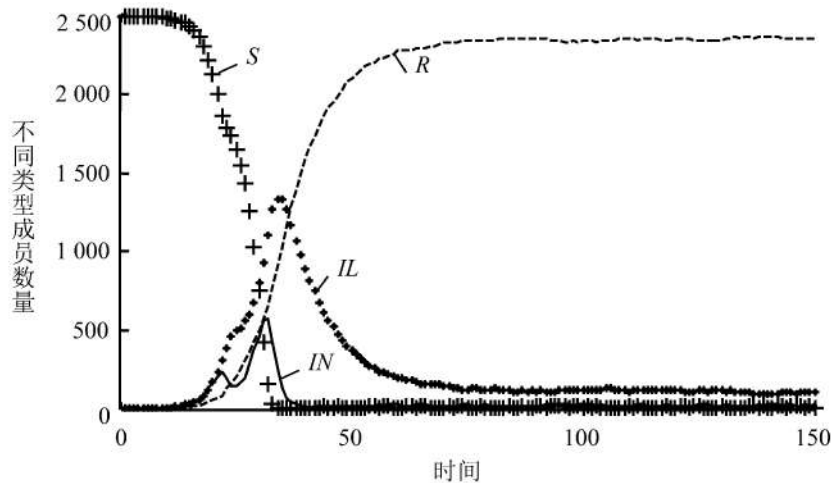


图6 网络结构对创新扩散的影响

Figure 6 Influence of Network Structure on Innovation Diffusion

值越高,而且在达到最高值之后下降的也越快,说明成员创新的欲望越强烈,创新信息的价值越高,越能激发集群中的创新扩散现象。

$W_{S \rightarrow IN}$ 值越大,对应的 IL 曲线上升的越快,在达到峰值之后下降的也越快,而且最大值越高、出现时间越短,说明 SIVC 创新扩散速度越快。在创新扩散的初始阶段,大量的易染成员接收到创新信息成为潜伏成员,因而扩散成员数量增加速度也越快,潜伏成员数量先于扩散成员达到最大值,这符合实际传播规律;当达到峰值之后,成员逐渐不再关注该项创新,此时 IL 曲线开始下降。

$W_{S \rightarrow IN}$ 值增大,对应的 R 曲线升高的趋势越明显,说明免疫成员增加的速度越快。随着 IL 曲线达到峰值开始下降之后,成员逐渐不再关注该项创新,导致 R 曲线增长趋势减缓,最后趋于较固定的稳定值。

仿真结果表明,在其他参数固定不变的情况下, $W_{S \rightarrow IN}$ 影响 SIVC 创新扩散活动持续的时间及各状态成员的数量变化。在 $W_{S \rightarrow IN}$ 值较低时,创新扩散活动所需时间长,具有滞后性,创新信息从开始传播到成员接受需要经过一段时间。 $W_{S \rightarrow IN}$ 值越高, SIVC 中潜伏

状态和扩散状态的成员增加的越快,越有利于创新的扩散,参与创新扩散成员数量越早达到峰值,即创新扩散达到稳定的时间越短。

5.3 网络结构对创新扩散的影响

为了研究网络结构对 SIVC 创新扩散的影响,将 N' 的取值设定为 625,对应的仿真结果见图 6,观察创新扩散过程中各状态成员数量随潜伏系数取值不同的变化情况,其余参数为 $N = 2500, W_{S \rightarrow IN} = 0.500, W_{IN \rightarrow IL} = 0.500, W_{IL \rightarrow R} = 0.100, W_{R \rightarrow S} = 0.005$ 。

对比图 6 和图 4(a) 可以看出,随着 N' 的增加, S 曲线下降趋势逐渐加快,最终稳定在 0。 IN 和 IL 曲线的最高值随 N' 的增加而升高,最大值出现时间缩短,最终稳定水平趋于一致。随着 N' 的增加, R 曲线上升的更快,最高值不变。

由以上分析可以看出,集群网络结构影响 SIVC 创新扩散过程,在其他参数固定不变的情况下,当 N' 取值较高时,说明 SIVC 子集群中成员数量多,即成员二级邻居数增多,互相没有联系的成员相对较少,因此单位时间内参与创新扩散活动成员增多,加快了创新扩散的速度。

5.4 层次性考量的对比分析

(1)式假设每个成员之间以相同的方式进行创新交互,在现实的集群中这是不真实的,因为成员间的相互作用有强弱之分。图7给出(1)式与SIVC创新扩散模型的比较结果,这两个曲线是相似的,但对于SIVC创新扩散模型,创新扩散成员数量增长较慢并且最大值出现的时间大于(1)式。当t=0,初始假设只有一个成员处在IL状态时,在SIVC创新扩散模型中,考虑多层次的创新扩散关系,造成两个曲线位置的差异。对于足够久的时间t,(1)式的解在固定点,但是SIVC创新扩散模型创新采纳者数量的计算

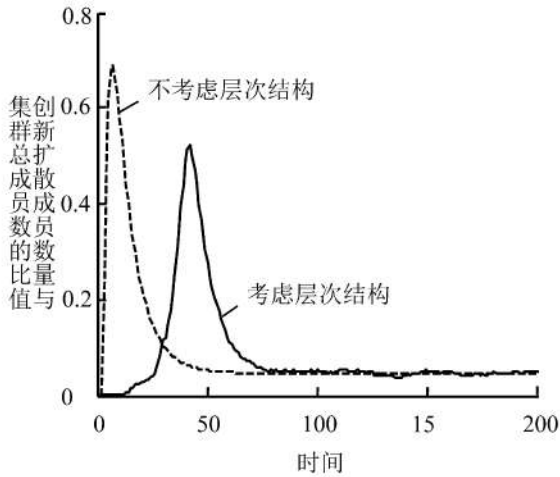


图7 层次性考量的对比分析
Figure 7 Comparison Analyses of Hierarchy Considerations

数值处在振荡状态。当处在状态S成员的数量非常低,创新扩散者的数量减少,因为一个新的成员将接收创新的概率低。另一方面,当创新扩散成员的数量少,潜在创新采纳成员数量增加。因此,当达到临界值,创新扩散开始蔓延,使 N_{IL} 大幅度增加。参数为 $N = 2500, N' = 100, W_{S \rightarrow IN} = 0.500, W_{IN \rightarrow IL} = 0.500, W_{IL \rightarrow R} = 0.100, W_{R \rightarrow S} = 0.005$ 。

6 实证

江苏虚拟软件园成立于2009年1月,是江苏省经济和信息化工作委员会根据江苏软件产业发展特点,在全国率先提出的创新理念和实践产物,即软件产业虚拟集群。江苏虚拟软件园秉承“助力企业创新、促进产业发展”的宗旨,依托互联网技术,引进国家平台资源,整合江苏省内优势资源,利用互联网和虚拟化等技术将物理上分散的人力资源、设备资源、政策资源、金融资源和市场资源等融合贯通,充分发挥江苏软件产业公共服务平台的“国家示范平台”作用,在全国范围内建设分中心,扩大服务范围,提升分中心所在地软件公共服务能力,与各地软件园区良性互动,带动区域主要软件产业载体形成合力、共同发展。

江苏虚拟软件园设立了南京新城科技园分中心、苏州软件园分中心、淮安分中心等18个地方分中心,已形成以中国(南京)软件谷服务基地和江苏软件园服务基地为核心,辐射江苏10个地市、20个软件园区完善的服务体系。图8为某项创新在虚拟园中扩散情况的抽象图,实线小圆(有无标号)代表集群

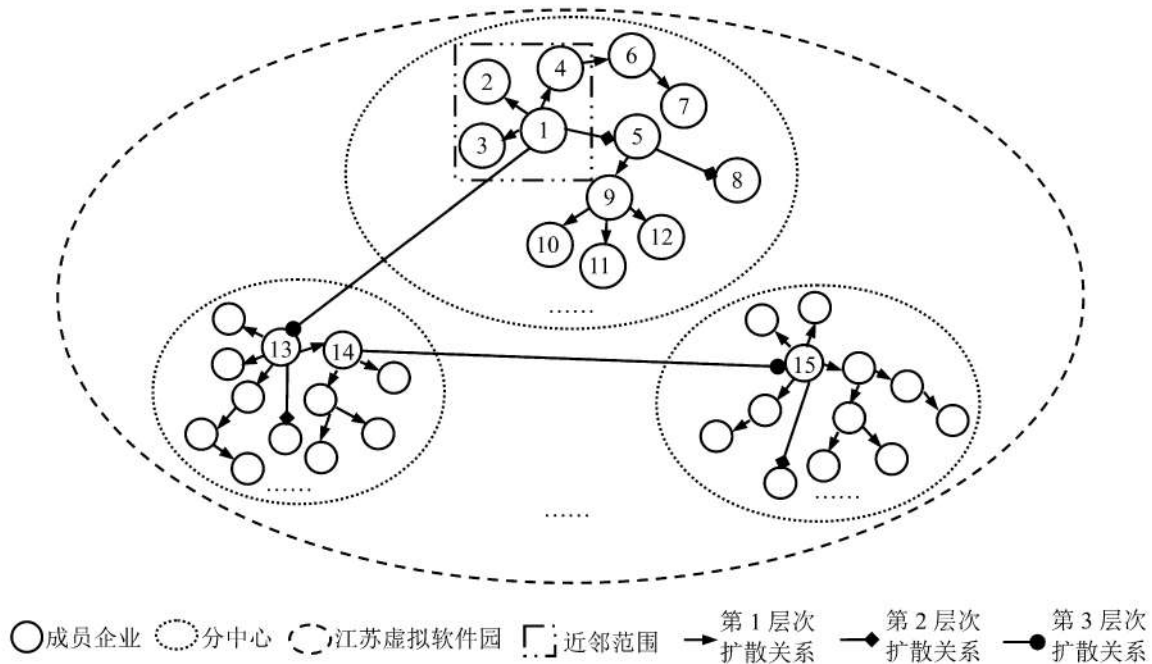


图8 江苏虚拟软件园创新扩散网络
Figure 8 Network of Innovation Diffusion in the Jiangsu Virtual Software Park

中的成员企业,点虚线圆代表分中心,图中只列出3个说明其扩散关系,其中1个分中心内企业1为扩散源,企业2、3、4为其邻居,是第1层次的创新扩散。企业5与企业1同在一个分中心里,企业1到企业5是第2层次的创新扩散。企业13与企业1在不同的分中心里,企业1到企业13是第3层次的创新扩散,成员间不同的扩散层次用不同的箭头表示。综上可见江苏虚拟软件园创新扩散呈现层次性和复杂网络性。

江苏虚拟软件园的创新扩散现象无法在短时间内完成,由于地理范围较大,创新在集群中产生以后,需要一段时间的推广、应用,创新围绕扩散源逐渐向外扩散,呈现出层次性。当部分成员了解和接受创新信息后,创新扩散源增多,扩散速度加快,掌握创新的成员数量突增。江苏虚拟软件园以提升整体技术核心竞争力为目标,多次举办沙龙和讲座,积极推广云计算时代的Java EE7技术。为验证本研究构建的软件产业虚拟集群创新扩散模型的正确性,以Java新技术在江苏虚拟软件园中扩散情况为例,与理论模型进行对比分析,如图9所示。由图9可见二者变化趋势相同,拟合情况较好,每个成员邻居数量不定,是造成差异的主要原因。江苏虚拟软件园创新扩散尚处在前、中期,随后可能进入衰退期,对于尚未参与创新扩散的成员需要尽快掌握创新技术,避免处于技术落后的位置。

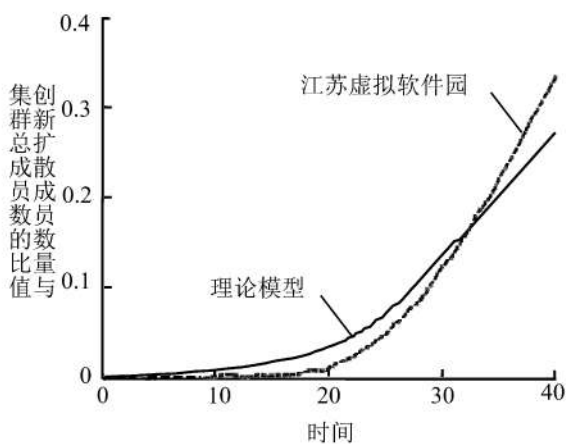


图9 理论模型与江苏虚拟软件园创新扩散情况对比
Figure 9 Contrast of Innovation Diffusion of the Theoretical Model and Jiangsu Virtual Software Park

7 结论

本研究从网络视角,结合传染病理论,详细描绘了成员创新扩散行为,利用matlab进行仿真分析,系统探讨SIVC创新扩散演化趋势,得出以下结论。① SIVC创新扩散具有明显的层次性,邻居关系对SIVC创新扩散影响最大,其次为成员在同一地域内,再次为成员间的随机接触。②在其他参数不变的情况下,易染系数和潜伏系数越高,创新在集群中扩散的越快,创新扩散成员数达到最大值所需时间越短。

③SIVC子集群中成员数量越多,也就是越多的企业处在同一地域,创新扩散持续时间越短。④与不考虑创新扩散的层次性相比,两种情况创新扩散演化趋势大体相似,差异性体现在创新采纳成员的数量和达到最大值的时间。以上结论揭示了SIVC创新扩散演化规律,对SIVC创新管理具有一定的启示作用,为提升SIVC创新扩散能力提供了理论依据。

通过对江苏虚拟软件园创新扩散情况的实证研究,验证了本研究构建SIVC创新扩散模型的正确性和实用性。基于对SIVC创新扩散的发展预测,在集群运行过程中可以采取如下激励措施,加快SIVC创新扩散活动的开展。①拓宽创新扩散渠道。SIVC应积极开展统一培训、研讨和参观等活动,营造集体学习氛围,促进技术转移机构和金融机构的发展,降低创新吸收和潜伏时间,加快创新扩散进程。②促进子集群间的交流和联系。地理集群内较高的集聚系数可能导致局域世界的锁定效应,不同地域的成员建立合作创新关系,有利于创新在SIVC中的传播和扩散。③增加邻居成员。SIVC中多为中小软件企业,由于软件技术的复杂性和快速多变性,成员间应以信任为基础,形成合力,提高集群内双赢和多赢的合作意识,促使互为邻居成员不断增多。

本研究从SIVC成员个体的决策行为出发,探讨集群整体的创新扩散演化机理,建立的SIVC创新扩散模型具有一定的通用性,模型将SIVC成员总数及子集群中的成员数量设为定值,该假设存在一定的局限性,在今后的研究中应充分考虑SIVC动态性等特征,进一步改进模型,以期更加符合实际情况。

参考文献:

- [1] Wieser M. Virtual high tech clusters: The modern Silicon valley [C] // Shen W, de Souza J M, Barthès J P, Lin Z. The 7th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. Rio de Janeiro, 2002:397-403.
- [2] Tripathi R, Gupta M P, Bhattacharya J. Interoperability adoption among government and corporate portals in India: A study [J]. Journal of Enterprise Information Management, 2012, 25(2): 98-122.
- [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] 王砚羽, 谢伟. 电子商务模仿创新的分角色两阶段 Bass 模型及应用 [J]. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(2): 36-41.
Wang Yanyu, Xie Wei. A study on two-stage Bass model of e-business imitate innovation and its application [J]. Science of Science and Management of S. & T., 2013, 34(2): 36-41. (in Chinese)
- [5] 胡知能, 裴玉蓉. 价格策略下商品赠送对多代产品扩散的影响 [J]. 系统工程学报, 2013, 28

- (3):316-326.
- Hu Zhineng, Pei Yurong. Impact of product sampling on the diffusion of multi-generation products based on the pricing strategy [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2013, 28(3):316-326. (in Chinese)
- [6] 胡知能, 谢瑞坤, 徐玖平. 批量购买下免费商品赠送对新产品扩散的影响 [J]. *运筹与管理*, 2013, 22(3):230-241.
- Hu Zhineng, Xie Ruikun, Xu Jiuping. Impact of product sampling on the new product diffusion incorporating multiple-unit ownership [J]. *Operations Research and Management Science*, 2013, 22(3):230-241. (in Chinese)
- [7] 马蕾, 罗建强, 黄克己, 叶瑞. 基于 Markov 的技术创新扩散理论及仿真分析研究 [J]. *科学学与科学技术管理*, 2012, 33(2):44-49.
- Ma Lei, Luo Jianqiang, Huang Keji, Ye Rui. Analysis of technical innovation diffusion theory and its simulation based on Markov chain [J]. *Science of Science and Management of S. & T.*, 2012, 33(2):44-49. (in Chinese)
- [8] 常悦, 鞠晓峰. 创新供给者、中介与潜在采纳者之间的博弈研究 [J]. *中国软科学*, 2013(3):152-157.
- Chang Yue, Ju Xiaofeng. Study on game among innovation suppliers, intermediary organizations and potential adopters [J]. *China Soft Science*, 2013(3):152-157. (in Chinese)
- [9] Guseo R, Guidolin M. Cellular automata with network incubation in information technology diffusion [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2010, 389(12):2422-2433.
- [10] Kuandykov L, Sokolov M. Impact of social neighborhood on diffusion of innovation S-curve [J]. *Decision Support Systems*, 2010, 48(4):531-535.
- [11] 邵云飞, 范群林, 唐小我. 产业集群创新的竞争扩散模型研究 [J]. *科学学与科学技术管理*, 2010, 31(12):43-49.
- Shao Yunfei, Fan Qunlin, Tang Xiaowo. Study on competitive diffusion model of innovations in industry clusters [J]. *Science of Science and Management of S. & T.*, 2010, 31(12):43-49. (in Chinese)
- [12] 李勇, 史占中, 屠梅曾. 企业集群中的创新传播动力学研究 [J]. *科学学与科学技术管理*, 2005, 26(5):77-80.
- Li Yong, Shi Zhanzhong, Tu Meizeng. Dynamics of innovation diffusion in enterprise clusters [J]. *Science of Science and Management of S. & T.*, 2005, 26(5):77-80. (in Chinese)
- [13] 张京伟, 崔文田, 林军, 许晓晴. 基于 Bass 扩散模型的高新技术采用最优时机问题 [J]. *系统工程*, 2010, 28(11):38-42.
- Zhang Jingwei, Cui Wentian, Lin Jun, Xu Xiaoping. The problem of optimal adoption timing of new technology based on Bass model [J]. *Systems Engineering*, 2010, 28(11):38-42. (in Chinese)
- [14] Kiss I Z, Broom M, Craze P G, Rafols I. Can epidemic models describe the diffusion of topics across disciplines? [J]. *Journal of Informetrics*, 2010, 4(1):74-82.
- [15] Dahl M S, Pedersen C R. Knowledge flows through informal contacts in industrial clusters: Myth or reality? [J]. *Research Policy*, 2004, 33(10):1673-1686.
- [16] Østergaard C R. Knowledge flows through social networks in a cluster: Comparing university and industry links [J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2009, 20(3):196-210.
- [17] 黄玮强, 庄新田, 姚爽. 基于创新合作网络的产业集群知识扩散研究 [J]. *管理科学*, 2012, 25(2):13-23.
- Huang Weiqiang, Zhuang Xintian, Yao Shuang. Study on knowledge diffusion of industry clusters based on the innovation cooperation network [J]. *Journal of Management Science*, 2012, 25(2):13-23. (in Chinese)
- [18] 黄玮强, 姚爽, 庄新田. 基于复杂社会网络的创新扩散多智能体仿真研究 [J]. *科学学研究*, 2013, 31(2):310-320.
- Huang Weiqiang, Yao Shuang, Zhuang Xintian. The agent-based simulation of innovation diffusion based on complex social networks [J]. *Studies in Science of Science*, 2013, 31(2):310-320. (in Chinese)
- [19] 李守伟, 钱省三, 沈运红. 基于产业网络的创新扩散机制研究 [J]. *科研管理*, 2007, 28(4):49-54, 72.
- Li Shouwei, Qian Xingsan, Shen Yunhong. A research on the mechanism of innovation diffusion based on industrial network [J]. *Science Research Management*, 2007, 28(4):49-54, 72. (in Chinese)
- [20] 何铮, 张晓军. 集群创新扩散的鲁棒性和脆弱性 [J]. *系统管理学报*, 2011, 20(6):682-689.
- He Zheng, Zhang Xiaojun. Robustness and fragility of innovation diffusion networks within an industry cluster [J]. *Journal of Systems & Management*, 2011, 20(6):682-689. (in Chinese)
- [21] Pegoretti G, Rentocchini F, Marzetti G V. An agent-based model of innovation diffusion: Network structure and coexistence under different information regimes [J]. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 2012, 7(2):145-165.
- [22] 孙耀吾, 卫英平. 高技术企业联盟知识扩散研究: 基于小世界网络的视角 [J]. *管理科学学报*, 2011, 14(12):17-26.

- Sun Yaowu, Wei Yingping. Study on knowledge diffusion of high-tech enterprise alliance from the small-world network perspective [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2011, 14(12): 17-26. (in Chinese)
- [23] Bhargava S C, Kumar A, Mukherjee A. A stochastic cellular automata model of innovation diffusion [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1993, 44(1): 87-97.
- [24] 张发, 李璐, 宣慧玉. 传染病传播模型综述[J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(9): 1736-1744. Zhang Fa, Li Lu, Xuan Huiyu. Survey of transmission models of infectious diseases [J]. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2011, 31(9): 1736-1744. (in Chinese)
- [25] Porter M E. Location, competition, and economic development; Local clusters in a global economy [J]. *Economic Development Quarterly*, 2000, 14(1): 15-34.
- [26] Rogers E M. *Diffusion of innovations* [M]. 4th ed. New York: Free Press, 1995: 6-60.
- [27] Alkemade F, Castaldi C. Strategies for the diffusion of innovations on social networks [J]. *Computational Economics*, 2005, 25(1/2): 3-23.
- [28] Jiang Y, Ishida T. Concurrent agent social strategy diffusion with the unification trend [C] // *Proceedings of Agent Computing and Multi-Agent Systems, 9th Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents*. Guilin, 2006: 256-268.
- [29] Xu X J, Peng H O, Wang X M, Wang Y H. Epidemic spreading with time delay in complex networks [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2006, 367(15): 525-530.
- [30] Grabowski A, Rosińska M. The SIS model for assessment of epidemic control in a social network [J]. *Acta Physica Polonica B*, 2006, 37(5): 1521-1535.
- [31] Olinky R, Stone L. Unexpected epidemic thresholds in heterogeneous networks: The role of disease transmission [J]. *Physical Review E*, 2004, 70(3): 030902.

Research on Innovation Diffusion Model of Software Industrial Virtual Cluster under the Perspective of Network

Gao Changyuan, Wang Jing

School of Management, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China

Abstract: Based on traditional innovation diffusion theories and methods and from the perspective of networks and combining infectious disease model, innovation diffusion mechanism of software industrial virtual cluster is discussed. Due to the geographical dispersion of software industrial virtual cluster, innovation diffusion activities are more complicated. According to the close degree of contact between cluster members, innovation diffusion relationships between members are divided into three levels: innovation diffusion between neighbors, members in the same sub-clusters and between members of different sub-clusters. Based on ideas of infectious diseases and considering the incubation period of innovation diffusion, members of Software Industrial Virtual Cluster are divided into four types: members of the potential innovation adoption, absorption and transformation of innovation, innovation adoption and innovation can be spread to other enterprises and the independent innovation. Innovation diffusion model of Software Industrial Virtual Cluster model is built based on the traditional model of infectious diseases to explore the influence of different parameters on the innovation diffusion processes and unfold the law of innovation diffusion. The results show that neighbors have an obvious effect on innovation diffusion; increased Tingible coefficient and Latent coefficient increase innovation diffusion velocity; Network structure of the cluster and diffusion hierarchy affect the number of innovation diffusion members and the appearance time of maximum. Finally, Jiangsu virtual software park as an example is applied to test the correctness and applicability of the model.

Keywords: software industrial virtual cluster; innovation diffusion; network structure; simulation

Received Date: September 8th, 2013 **Accepted Date:** April 29th, 2014

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China(71072085, 71272191)

Biography: Dr. Gao Changyuan, a Heilongjiang Jixi native(1960 -), graduated from Harbin Engineering University and is a Professor and Ph. D. Advisor in the School of Management at Harbin University of Science and Technology. His research interests include software industrial virtual cluster and decision support system, etc. E-mail: gaocy2002@126.com

□