

虚拟产业集群合作博弈分析*

高长元,王京

(哈尔滨理工大学 管理学院 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:虚拟产业集群是网络经济时代下的新型组织形式,基于集群网络结构及多人博弈理论,同时考虑成员混合策略选择问题,建立虚拟产业集群合作博弈模型,并采用仿真方法,揭示其合作行为演化规律。结果表明,与纯策略相比,混合策略可以促进集群合作现象发生,并且越多成员在一起合作,越需要采用混合策略。

关键词:虚拟产业集群;合作;多人博弈;仿真

中图分类号:F269.23 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-5981(2014)01-0026-04

一、引言

随着市场竞争日趋激烈,具有产业关联性的企业聚集在一起,从而获得竞争优势。美国硅谷、印度班加罗尔等都是产业集群的典范^{[1]36-38}。面对全球巨大市场需求及信息、通信技术的全面发展,传统地理集中的产业集群正逐步打破空间限制,借助先进信息技术与互联网平台,整合分散在世界各地的企业及相关机构,形成跨地域虚拟产业集群(Virtual Industrial Cluster, VIC)。所谓虚拟产业集群是由具有一定专长的各类企业组成的集合体,主要通过提供与调解成员企业核心能力参与虚拟企业运作,使成员企业分享市场机遇和参与全球商务^{[2]112-120}。目前,学术界对产业集群合作行为展开了相关研究。Ian认为集群合作行为逐渐被组织间的竞争所取代^{[3]127-145}。Robert指出产业集群创新网络会使合作行为更加复杂^{[4]565-578}。Qing描述了共享资源、共同声誉和中介机构的参与对集群企业创新产生积极作用^{[5]242-256}。Andrew等指出技术及知识结构的相似性是产业集群创新和合作的前提^{[6]809-819, [7]356-364}。Antonio利用改进的DJ模型和斯坦伯格博弈探究产业集群知识溢出与成员企业创新投入的关系^{[8]213-222}。Giuliani阐述了合作网络对产业集群企业创新绩效的重要作用^{[9]139-168}。闫莹、赵公民探讨了集群企业合作意愿与创新网络的关系^{[10]29-35}。

以上文献可以看出,部分国内外学者基于网络分析法对产业集群合作行为进行研究,但大多基于传统模型,如小世界模型、无标度模型等。也有学者利用博弈论建立集群企业合作模型,但一般只是双方博弈,并且策略集只有合作与背叛两种情况。目前,将两者结合的研究及对虚拟产业集群这

一较为新型的集群研究较少。虚拟产业集群是一种较为松散的企业组织形式,主要为虚拟企业构建与运作提供基础平台与支撑。虚拟企业也并非是两个企业强强联合组成,通常是多个成员贡献自己的核心竞争力^{[11]62-67}。因此,在研究虚拟产业集群合作进化时,应采用多人博弈思想,并考虑多个博弈游戏共同迭代。本文以虚拟产业集群合作网络为基础,考虑成员纯策略及混合策略选择,建立集群多人博弈合作模型,并对合作企业数量及网络特征与成员采取策略关系等进行仿真,阐释了虚拟产业集群成员合作行为演化机理,为指导集群实践提供理论依据。

二、虚拟产业集群合作博弈模型

由于虚拟产业集群成员间的合作行为是基于集群网络结构展开的,虚拟产业集群中的成员可以看成是网络结构中的节点,成员间合作关系简化为网络中边的链接,本文利用网络演化博弈思想建立虚拟产业集群合作博弈模型,探讨成员间合作关系的变化及集群整体的涌现性。

在虚拟产业集群中企业之间是否合作完全是基于自身利益及他们的社会关系考量。任何成员之间都能够进行交互,然而他们更倾向于选择以前发生过合作的那些企业。这反映了企业更愿意寻求已经被证明是可靠的合作伙伴之间互动。之前良好的合作关系会增强以后的合作行动。但是当企业选择背叛,那么与它的合作伙伴的链接就会折断。然而由于跨地域性或者其他原因不参与这个游戏的成员不知道这个背叛的行动,所以他们与有背叛的成员的链接被保留。基于以上分析,建立虚拟产业集群合作博弈算法,假设集群成员为 N ,共同参与博弈游戏,每个游戏随机抽取

* 收稿日期:2013-08-24

作者简介:高长元(1960-),男,黑龙江鸡西人,哈尔滨理工大学管理学院教授、博士生导师;

王京(1984-),女,河北省五强县人,哈尔滨理工大学博士研究生。

基金项目:国家自然科学基金项目“软件产业虚拟集群合作竞争机制研究”(项目编号:71072085);国家自然科学基金项目“基于云环境的IT产业联盟知识转移与共享机制研究”(项目编号:71272191)。

的参与成员 $n \geq 2$ 。然而,根据其 N 和 n 的大小,个别成员可能不加入任何游戏,这与虚拟产业集群情况相符,因为有些企业加入集群只是为了共享集群公共资源与声誉等,属于搭便车行为。虚拟产业集群成员间合作博弈过程主要涉及博弈模型的选择、成员策略选择、策略更新规则及链接调整等方面。

1. 博弈模型的选择

雪堆博弈是博弈论的经典模型,模型假设局中人都会以自身利益最大化为原则理智地做出策略选择,这与虚拟产业集群中企业的情况相符。在双人雪堆博弈游戏中,假设清雪的代价为 c ,道路通畅顺利通过的好处为 b ($b > c$)。若两个参与者合作清雪,收益值均为 $b - c/2$;若两者都不清雪,选择背叛则收益值均为 0;若只有一人清雪,则清雪者的收益为 b ,背叛者的收益为 $b - c$ 。在虚拟产业集群中合作的成员往往多于两个,因此考虑采用多人雪堆博弈思想解决集群合作进化问题。多人雪堆博弈游戏可以被认为双人游戏的自然延伸,参与者的收益为:

$$U = \begin{cases} b - c/i & \text{如果参与者选择合作} \\ b & \text{如果参与者选择背叛} \end{cases} \quad (1)$$

i 是在游戏中合作者的数量,且 $i \geq 1$ 。在虚拟产业集群中成员完成一项合作任务需要考虑时间成本,因此本文假设如果合作任务完成时间缩短,成员会获得时间收益,进一步改进模型,其中 $w - w/n$ 为时间收益,得到合作者与背叛者的收益如下^{[12]56-60}:

$$U = \begin{cases} b - c/i + w - w/n & \text{如果参与者选择合作} \\ b + w - w/n & \text{如果参与者选择背叛} \end{cases} \quad (2)$$

传统的进化博弈理论预测,合作不太可能出现在多人雪堆博弈,因为无论对手做出什么选择,背叛都是最好的决定,最终每个参与者收益均为 0,系统处于均衡状态,但这并不是每个参与者采用合作策略的最优状态。近来有文献表明,网络结构可以提高博弈游戏的合作水平,同时考虑成员混合策略选择问题,建立虚拟产业集群合作博弈模型,以期对集群运行提供理论指导。

2. 成员策略选择

每一场游戏的博弈结果取决于成员的策略。我们考虑两种不同的情况,成员有认知变化的能力。第一种情况仅涉及纯策略,就是说每个成员总是采取合作或背叛行动。第二种情况,成员考虑混合策略,混合策略是对每个纯策略赋值的概率。

成员是否采取混合策略,取决于成员 i 的权重 w_{ij} ,即为该成员与游戏每个参与者建立的链接且 $j \in g$ 。成员 i 在游戏 g 中的平均链接权重被定义为 $\bar{w}_i(g) = \frac{1}{|g|} \sum_{j \in g} w_{ij}$ 。在游戏 g 中一个成员采用合作的混合策略概率为 $P_i(g) = \frac{\bar{w}_i(g)^\alpha + \beta}{\bar{w}_i(g)^\alpha + \beta + 1}$ 。

用概率 $1 - P_i(g)$ 表示背叛。基本上,如果成员与其他参与成员没有任何链接 β 决定合作的概率。渐变的概率密度函数是由 α 决定。取值较高说明成员与其他合作伙伴间虽然链接较少但仍采取合作态度^{[13]736-743}。游戏结束时每

个成员收到的回报或效用见方程 2。

3. 策略更新规则

模仿和反省机制是常见的策略更新规则,本文主要采用这两种方法更新成员策略。模仿机制指成员比较自己及其他参与成员获得的收益,若自己收益较低,则以正比于收益差额的概率 p_1 将较高收益的策略选择为自己下一次迭代的策略,反之则策略不变。反省机制指成员计算在该轮博弈中采用不同策略获得的收益,若计算的虚拟收益比实际收益高,则以正比于收益差额的概率 p_2 将较高收益的策略选择为自己下一次迭代的策略,反之则策略不变。由于传统模型中背叛是成员策略选择,因此加入模仿机制集群合作演化结果不会改变,而反省机制相当于进化过程中的扰动项,打破成员采用一致策略的状态,促进成员间合作^{[14]114-117}。

4. 链接调整

假设只有通过双方同意才能产生链接,这可以防止任何叛逃者影响成员优势的选择。并假设其他参与者的行为是可见的。有背叛的行动不能导致负面的链接权重,是为了鼓励成员要宽容。对于在游戏中的每一对成员 i 和 j 链接 w_{ij} 的变化如下:

$$w_{ij} = \begin{cases} w_{ij} + 1 & i, j \text{ 采取合作策略} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases} \quad (3)$$

三、仿真

1. 仿真过程

基于上文对虚拟产业集群合作博弈模型的分析,设计仿真过程如图 1 所示,并使用 MATLAB 仿真软件进行编程并输出仿真结果。算法的基本思想是,共有 N 个成员,每个游戏开始时都是随机抽取 n 个成员参与进来,分别进行纯策略和混合策略的初始化,对于每个成员演化机制包括模仿和反省,这样每一次得到稳定状态之后,稳定的合作关系加入到关系矩阵中,如此为一次迭代过程直到循环结束。

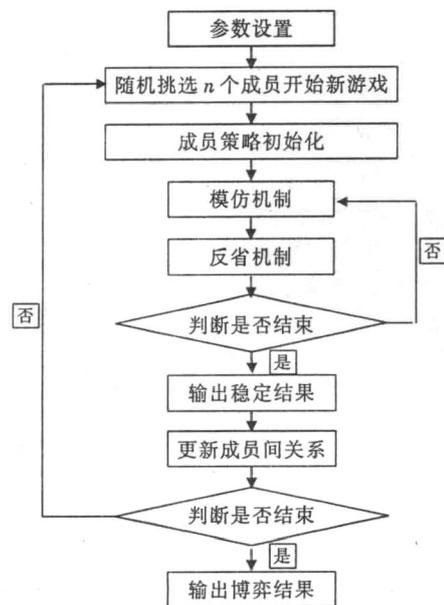


图 1 仿真流程图

2. n 值与策略选择

模型参数: 成员数量 $N=150$, 回报率 $b=1$, $\rho=0.5$, 时间收益参数 $w=1$, 模仿机制和反省机制的发生概率 $p_1=p_2=0.2$ 。在混合策略情况下 $\alpha=2$, $\beta=0.1$ 。

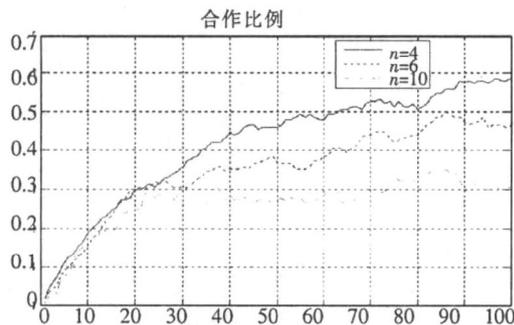


图2 纯策略情况下,合作比例演化

图2显示的结果是当所有成员采用纯策略时,随着时间增加, n 值的变化与合作比例的演化情况。与 n 取值为6或10的情况进行对比,在 $n=4$ 时,成员合作均衡水平最高。当 n 增加,合作均衡水平下降。在 $n=6$ 时,大约成员有50%的概率采取合作策略。对于较大的值 n ,背叛者的比例增加,这与传统博弈游戏的结果相一致。

图3的结果是当采用混合策略时,随着时间增加, n 值的变化与合作比例的演化情况。与图2相比,引入混合策略比采用纯策略会促进更高比例的合作。但是随着合作成员数增加,合作比例仍然呈现下降趋势。然而,与采用纯策略相比,采用混合策略时合作成员的比例明显更高。例如,当 $n=10$,在纯策略情况下,背叛起主导作用,合作比例稳定在30%的均衡水平,而在混合策略情况下,合作比例明显高于30%。

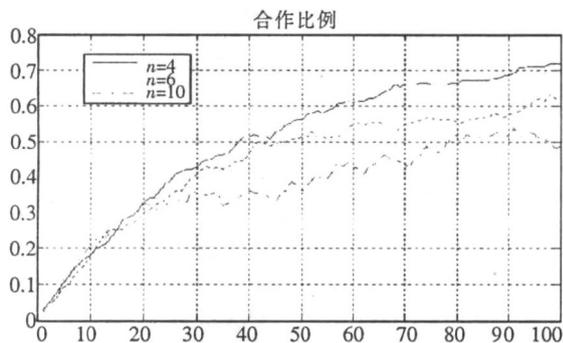


图3 混合策略情况下,合作比例演化

3. 网络结构与策略选择

聚类系数是描述网络紧密程度的常用属性,计算公式为 $c_i = 2E_i / [k_i(k_i - 1)]$, k_i 是与成员 i 有合作关系的成员数量, E_i 为这 k_i 个成员间存在合作关系的链接数。集群合作网络的聚类系数既为所有节点聚类系数 c_i 的平均值。模型参数: 成员数量 $N=150$, 回报率 $b=1$, $\rho=0.5$, 时间收益参数 $w=1$, 模仿机制和反省机制的发生概率 $p_1=p_2=0.2$ 。在混合策略情况下 $\alpha=2$, $\beta=0.1$ 。

图4和图5分别显示了纯策略和混合策略情况下,随时间增加平均聚类系数的变化。这一时间序列趋势曲线符合图2和图3所示的结果,即在 N 取较大值时,平均聚类系数

值通常较小,而且平均聚类系数在混合策略情况下取值相对较高。当成员采取合作策略,每次的合作完成增强了成员间的合作链接。当一个成员背叛,在那场游戏中和其他成员的链接被断开。模型的链接调整机制和混合策略的决策直接有利于形成虚拟企业。值得注意的是,当 n 值越小时,成员采取不同策略决策方法对平均聚类系数的取值基本不产生影响,说明当为了完成某一项任务,成员不止和一个企业合作时需要采用混合策略做出决策。

4. 时间收益与策略选择

模型参数: 成员数量 $N=150$, 回报率 $b=1$, $\rho=0.5$, $n=10$, 模仿机制和反省机制的发生概率 $p_1=p_2=0.2$ 。在混合策略情况下 $\alpha=2$, $\beta=0.1$ 。

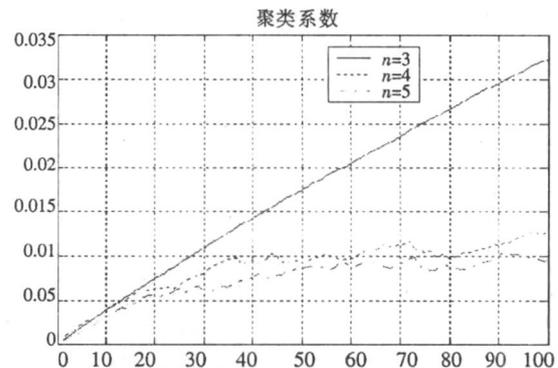


图4 纯策略情况下,平均聚类系数变化

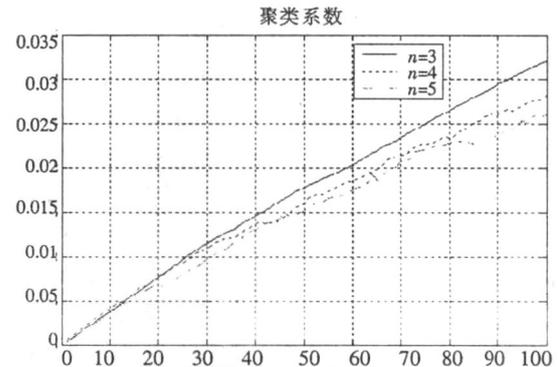


图5 混合策略情况下,平均聚类系数变化

如图6和图7所示,无论是纯策略还是混合策略,时间收益越大成员间合作的可能性越大,同时混合策略的采用还是会提高成员间合作比例。因此,在更短的时间内完成合作项目,会促进成员采取更积极的合作态度,有效减少背叛情况出现。

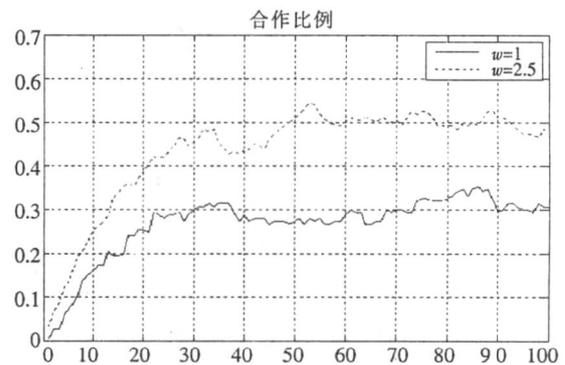


图6 纯策略情况下,合作比例演化

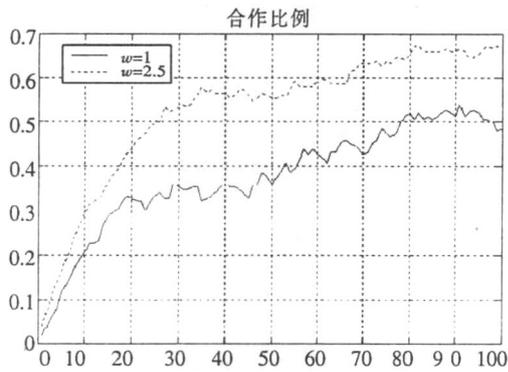


图7 混合策略情况下,合作比例演化

四、结论

虚拟产业集群被称作虚拟企业的成员池,虚拟企业通常由多个不同核心竞争力的成员为了完成某一具体目标或任务而组建,因此本文运用多人博弈思想探讨虚拟产业集群合作进化机理。

针对本文结论,提出促进虚拟产业集群合作行为的政策建议:(1)营造和谐集群氛围,树立共赢合作观念。虚拟产业集群成员由于处在不同的地理空间,企业文化、管理理念都不尽相同,通过集群性的集体活动开展,如技术交流会、法律服务咨询会、产业交流研讨会、合作发展论坛等,最大限度地促进成员间的沟通与交流,提高成员合作的积极性,使成员意识到合作会比自己单独行动获得更多的利益,以此打造信任共赢的集群文化。(2)建立集群奖惩机制,降低成员合作风险。首先,以正式契约的形式,约束合作各方的权益,在合约中详尽列出保护及惩罚条款,预防在合作中出现不正当行为。其次,充分发挥集群公共平台监督作用,及时追踪和公开各成员合作行为,建立及更新信誉档案,作为成员合作伙伴选择的依据。最后,建立健全政府政策,加大支持合作创新力度,设立专项基金推动合作研发项目开展,以简化基金申请流程,加快专利申请速度等方式降低时间成本,鼓励成员合作。此外,本文的不足之处为,将所有虚拟企业的成员数量假设为统一值,这虽然为计算提供方便,但无法很好地描述实际情况,这一问题将是下一阶段的研究重点。

参考文献:

- [1] Porter M. Clusters and the New Economics of Competition [J]. Harvard Business Review, 1998, 76(6).
- [2] Maria V. The Challenge of Virtual Organization: Critical Success Factors in Dealing with Constant Change [J]. Team Performance Management, 2004, 10(5).
- [3] Ian M. Network structure and knowledge transfer in cluster evolution [J]. International Journal of Organizational Analysis, 2011, 19(2).
- [4] Robert W. Does cooperation absorb complexity? Innovation networks and the speed and spread of complex technological innovation [J]. Technological Forecasting Social Change, 2007, 7(4).
- [5] Qing L. Promoting innovation in China by sharing resources in clusters: the new firm perspective [J]. Journal of Technology Management in China, 2011, 6(3).
- [6] Andrew J, Paul S. Proximity and power within investment relationships: The case of UK private equity industry [J]. Geoforum, 2009(40).
- [7] Smolinski A, Pichlak M. Innovation in Polish industry: The cluster concept applied to clean coal technologies in Silesia [J]. Technology in Society, 2009, 31.
- [8] Antonio T. Endogenous R&D symmetry in linear duopoly with one-way spillovers [J]. Journal of Economic Behavior Organization, 2008, 66(7).
- [9] Giuliani E. The selective nature of knowledge networks in clusters: evidence from the wine industry [J]. Journal of Economic Geography, 2007(7).
- [10] 闫莹, 赵公民. 合作意愿在集群企业获取竞争优势中的作用 [J]. 系统工程, 2012(2).
- [11] 李帅, 郭亚军, 田可, 等. 虚拟产业群的运作管理模式研究 [J]. 南开管理评论, 2003(1).
- [12] 季铭, 许晨. 演化雪堆博弈模型中的合作行为 [J]. 苏州大学学报(自然科学版), 2010, 26(1).
- [13] Ellis T S, Yao X. Evolving Cooperation in the Non-Iterated Prisoner's Dilemma: A Social Network Inspired Approach [C]. 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Singapore, September, 2007.
- [14] 姜江, 胡振华. 内陆城市群产业集群的区域创新机制研究 [J]. 湖南师范大学社会科学学报, 2012(4).

责任编辑: 廖文婷

Cooperation Game Analysis on Virtual Industrial Cluster

GAO Chang-yuan, WANG Jing

(School of management Harbin University of Science and Technology Harbin Heilongjiang 150040, China)

Abstract: Virtual Industrial Cluster is a new kind of organization model in network economy era. It based based on the network structure and multiplayer game theory and in consideration of mixed strategy selection. And then cooperation game model of Virtual Industrial Cluster is built. Simulation is used to reveal the evolution rules of cooperative behavior. The results show that compared with the pure strategy, the mixed strategy selection can promote the cooperation phenomenon in Virtual Industrial Cluster and the more members to work together, the more mixed strategy should be adopted.

Keywords: Virtual Industrial Cluster; cooperation; multiplayer game; simulation