

产业创新网络动态演进机制模拟与实例分析^①

谭劲松^{1,2}, 张红娟^{1*}, 林润辉³

(1. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072; 2. 加拿大约克大学舒立克商学院, 多伦多 M3J193;
3. 南开大学商学院、南开大学中国公司治理研究院, 天津 300071)

摘要: 产业创新网络是由产业内以创新为目的、相互独立又相互关联的企业以及企业间关系耦合而成的网络. 产业创新网络的演进机制是其研究的关键内容, 但这一领域的研究成果、特别是定量研究成果较少. 文章基于社会网络理论, 将产业创新网络描述为企业间以创新为目的的关系网络; 企业节点及其相互关系构成产业创新网络结构, 知识资本和社会资本是产业网络创新的基础, 企业的进入与退出机制以及企业的行为决策影响产业创新网络的演进过程, 基于此构建基于多智能体的仿真模型来分析产业创新网络的演进机制; 中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业网络演进过程实例表明, 该仿真模型能够有效反映产业创新网络演进的特点, 仿真模拟是分析产业创新网络演进机制的有效方法.

关键词: 产业创新网络; 网络演进; 仿真模拟

中图分类号: F270 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2019)12-0001-14

0 引言

科学技术飞速发展, 创新成为社会和经济发展的关键, 党的十八大明确提出要建设创新型国家, 促进协同创新和合作创新. 随着技术复杂性以及不确定性的日益增强, 高技术产业的演进与创新问题引起了学者的广泛关注, 已有研究分别从技术标准^[1]、战略联盟^[2]、政府作用^[3]以及企业与行业跨层次互动^[4]等方面进行了分析. 然而, 越来越多的学者认识到企业嵌入于与外部组织相互作用、相互影响的产业网络(industrial network)中^[5-7], 有助于企业获取信息、资源、市场和技术, 提高创新绩效和竞争优势. 这样就出现了新型的竞争模式——群体与群体之间的竞争——网络竞争, 对企业竞争优势的研究开始逐步扩展到产业网络竞争优势, 以企业为中心的创新扩展到以产业网络为中心的创新^[8]. 学者也开始将产业创新

网络(industrial innovation network)视为一个整体, 提出产业的发展是产业创新网络形成与演化的复杂、动态、持续的进程, 进而从创新网络动态演化的角度分析产业的演进机制^[9-10].

如何判断产业网络在创新驱动下所呈现出的演化规律, 进而预测产业创新网络发展趋势, 引导产业创新网络资源的优化配置以及产业的转型升级, 是理论与实践所面临的重要问题. 一方面, 关于产业创新网络演进过程的相关研究, 有的强调企业的战略能动性^[1-2, 11-12], 有的提出产业内主体间互动的重要性^[13], 有的重点分析产业创新网络的动态性和演化过程^[13-15], 然而很少有研究将企业的战略能动性、主体间互动以及产业创新网络的动态性结合起来进行分析, 以揭示产业创新网络的演进机制. 另一方面, 由于该领域数据库的建设不完善, 已有关于产业创新网络演进过程的

① 收稿日期: 2016-04-28; 修订日期: 2018-03-29.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71672123; 71732005; 71472131; 71772096); 天津大学自主创新基金资助项目(60302030); 天津大学北洋学者·青年骨干教师基金资助项目.

通讯作者: 张红娟(1983—), 女, 河北行唐人, 博士, 副教授. Email: jenny_zhang12@163.com

研究大多采用了案例研究方法,难以得到产业创新网络演进的一般规律。

针对以上研究不足,本文在理论分析的基础上,提出企业节点及其相互关系构成产业创新网络结构,知识资本和社会资本是产业网络创新的基础,基于企业自主决策的进入与退出机制以及企业的行为决策影响产业创新网络的演进过程,以此构建基于多智能体的仿真模型来分析产业创新网络的演进机制。中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业网络演进过程实例表明,该仿真模型能够有效反映产业创新网络演进的特点,为产业创新网络演进机制的实证研究提供有效的方法。

1 相关研究述评

国内外已有学者从不同角度对产业网络进行了界定。Bartlett 和 Ghoshal^[16]指出产业网络是两个以上的企业或者企业的分支机构为了共同利益进行合作的组织形式。企业为了完成单个企业所无法单独完成的目标而聚集在一起,相互合作,形成产业网络^[17]。Karlsson^[15]提出产业网络是产业内部不同的行为主体之间或者不同产业主体之间形成的网络。产业网络是一群各自拥有独特资源,也相互依赖对方资源的企业/组织等,通过经济、社会等关系,在要素投入、生产制造和技术合作等方面进行互动,长期形成的正式或非正式关系。创新网络最早的研究可以追溯到 Imai 和 Baba^[18],他们认为创新网络是为适应系统创新而进行的基本的结构安排,网络架构的主要连接机制是企业间的创新合作关系,组成创新网络的结点共同参与新产品的的设计、开发、生产和销售过程,共同参与创新的开发与扩散,通过结点互动建立科学、技术和市场之间的直接或间接、互惠或灵活的关系。由此可见,产业创新网络是产业内以创新为目的,相互独立又相互关联的企业以及企业间关系耦合而成的网络。

已有对产业创新网络演进机制的研究大多采用了案例研究方法。Bonaccorsi 和 Giuri^[19]采用案例方法,从产业生命周期角度研究了网络动态性和产业演化的关系,把商用喷气式飞机引擎产业网络演进过程划分为 3 个阶段:高不确定性和网

络形成阶段、源于异质性和网络扩散的学习阶段以及机会的均衡化与网络的稳定化阶段。Powell 等^[13]通过回顾美国生物技术产业 12 年的发展历程,从演化的角度动态分析了产业内企业间联系的动态变化如何影响产业的结构,将网络拓扑结构与产业动态性联系起来,得到产业演进过程中不同企业受到的影响根据企业的地理位置及其在产业网络中的地位等而有所不同。谭劲松和林润辉^[3]采用案例研究方法分析了中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业网络的演化创新过程,强调了政府作用、技术标准等对产业网络演进与创新的影响。Murmman^[20]采用比较案例分析方法探索了美国、英国、德国、法国和新西兰 5 个国家合成染料产业的演进历程及其与该国化学学科发展的协同机制。然而,由于都是案例研究,限于案例数据的独特性,无法揭示产业创新网络演进的一般规律。

在理论的着眼点是纵向、非线性,实证数据很难获得的情况下模拟方法就显现出其优越性^[21-22]。产业创新网络演进包括企业、企业战略决策与行动、网络结构的互动和演进,以及受外部环境变化的影响而导致三者之间关系的变化^[23-24],这就形成了个复杂系统。复杂社会系统主要特征是网络内个体间以及个体与系统的互动^[25],因此一定程度上可以将产业创新网络视为复杂社会网络。模拟方法适用于系统演化过程的研究^[26],在产业创新网络演进分析中具有重要作用^[27]。基于多智能体的模拟方法能够体现系统内个体、个体行为以及个体间互动,便于研究基于个体互动的系统演进^[25-26],再现产业创新网络整体的动态演进过程。Hakansson^[14]最早研究了产业网络的演化过程,指出产业网络演进受到宏观经济周期以及微观企业行为的影响。李守伟和程发新^[28]分析了企业的进入和退出对产业网络结构及其演进的影响。Castro 等^[29]通过仿真模拟了企业间联盟的演化情况,分析了企业选择联盟伙伴的影响因素。吕一博等^[30]通过基于多智能体的模拟分析得到组织惯性会削弱集群网络的小世界特性,加剧派系分化程度。可以看到,模拟方法在合作网络分析中具有重要作用,能够将产业创新网络演进所涉及的各要素及其相互关系纳入到一个系统中^[27]。更重要的是,模拟方法可以揭示企业

层次和行业层次的互相影响^[4], 并提供了解企业决策与外部环境互相影响、共同演进的新视角^[24].

目前对产业创新网络演进机制的已有研究的特点是: 1) 研究方法维度, 大多是通过案例研究方法进行理论的构建, 主要原因就是相关领域的数据库不健全, 而且该领域也难以通过数据收集的方法获得支撑性的证据. 部分采用模拟方法的已有研究, 仅对经典网络模型或者影响网络演进的某个要素进行仿真分析, 缺乏与现实产业创新网络数据相结合的分析, 而且模拟模型的有效性需要验证和提高; 2) 研究内容维度, 缺乏对产业创新网络演进过程的系统分析, 需要将企业的战略能动性、主体间互动以及产业创新网络的演进结合起来进行分析.

本文针对以上研究不足, 在识别产业创新网络节点与节点间关系的基础上, 综合企业的战略能动性、企业的进入与退出机制、企业间关系的变化以及企业知识资本与社会资本的互动, 开发基于多智能体的模拟模型, 模拟产业创新网络的演进机制; 然后用中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业网络的演进过程实例数据对模拟模型进行拟合, 来验证模拟模型的有效性、提高模拟模型的拟合优度, 分析所建立的模型是否能够有效反映产业创新网络演进的特点; 最后分析模拟方法对于揭示产业创新网络演进机制的优越性, 探索在此基础上预测产业的发展趋势, 引导产业创新网络资源的优化配置以及产业的转型升级, 提出本研究未来可能的研究方向.

2 产业创新网络演进机制模拟

产业创新网络作为复杂适应系统, 可以描述为网络内企业以及企业间互动; 产业创新网络演进过程, 就是企业基于知识资本和社会资本的关系建立与互动过程. 本部分建立多智能体仿真模型, 模拟产业创新网络的演化过程, 分析产业创新网络的演进机制.

2.1 模型抽象与假设

产业创新网络由 3 大要素构成: 行动者、行动和资源^[31], 这 3 个要素是相互影响的. 行动者是

产业创新网络的主体, 主要指企业, 企业具有能动性, 能够在分析自身属性的基础上根据环境的变化制定相应的战略决策, 采取行动. 行动指企业的行为, 它可以是研发、与其它企业建立联系、深化联系、弱化联系以及退出网络等. 产业创新网络内行动者众多, 它们之间的联系错综复杂, 行动者及其联系构成产业创新网络的整体结构. 行动者拥有资源, 在高技术产业中重点是知识资本和社会资本^[32], 是企业实现创新、赢得竞争优势的关键^[33]. 产业创新网络的演进可以表现为网络内活动主体的增减, 也可以表现为网络关系强度、网络结构的变化, 但大多数时候是上述情况的综合^[10], 是企业的变迁与网络的演进共同作用形成的.

2.1.1 明确产业创新网络结构构成

产业创新网络从网络结构构成视角看由节点 (*Node*) 和节点间关系 (*conn*) 构成. 节点主要是企业, 还包括产业内相关的科研机构、大学、政府部门等其它组织. 节点间关系是产业内组织间为了共同利益所建立的合作关系. 节点、节点间关系数目、关系强度及其分布直接影响了产业创新网络的结构.

1) 识别产业创新网络的节点. 节点是嵌入在产业创新网络中的企业、科研机构、大学、政府部门等组织, 根据其在产业链中的不同角色将其划分为 n 种不同的类型, 用 $FirmRole_1$ 、 $FirmRole_2$ 、 \dots 、 $FirmRole_n$ 表示. 以中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业为例, 产业内节点包括技术标准提出者、应用研发商、设备提供商、运营商以及其它 (例如政府部门、TD 产业联盟、研究机构等) 等 5 类.

2) 界定网络节点间关系. 产业创新网络内组织间可以用联系强度 (*strength*) 来度量^[34] 关系的紧密程度, 联系强度反映了组织与其合作伙伴关系的强弱以及能够从合作伙伴处获得资源的多寡. 组织间合作关系根据联系强度的不同可以划分为弱联系和强联系: 弱联系可以给企业带来新的知识和信息, 提高组织知识的多样性, 强联系更有利于组织对新知识的吸收利用^[22].

将组织间关系根据联系强度的不同划分为 k 类, 联系强度分别为 1 到 k 的整数, 用 $conn_1$ 、 $conn_2$ 、 \dots 、 $conn_k$ 表示. 联系强度为 1, 表示企业间

关系较弱;联系强度越大,表示企业间关系越强.

2.1.2 知识资本和社会资本是产业创新网络演进的核心资源

在产业创新网络中,不同组织间通过建立合作关系来交换、共享资源^[35-36]. 在高新技术产业网络中,企业之间建立了知识纽带和社会纽带^[37-38],企业的创新和竞争优势主要来自于企业自身的知识资本^[39-41]以及由于企业间关系所带来的社会资本^[5,32,42].

分析企业间合作关系的已有文献,大多强调了社会资本的作用,对知识资本及其作用的分析不多^[11]. 知识能够提升企业的创新能力^[33,39], Bekkers 等^[40]以 GSM 网络为对象,研究了知识资本在高新技术产业中的重要作用,指出较高的知识资本能够提高企业在产业中的声誉和影响力,有利于企业获得长期竞争优势. 企业不仅能够传播知识、运用知识,而且能够创造新知识,新知识的创造与企业现有知识的积累是密不可分的,企业知识的积累具有路径依赖性.

社会资本是企业通过与其他企业之间的联系可能获得的资源和信息的总和^[43]. 随着专业化分工的发展以及技术复杂性程度的提高,企业自身的知识资本难以满足其技术创新的需求,需要从外部获得. 在产业创新网络中,企业通过建立合作关系来交换、共享资源^[35-36]. 与其他组织间的联系作为潜在的学习机会,能够促进企业间知识的转移或者产生新的知识^[11,44]. 企业一方面强化与原有合作伙伴的关系,另一方面,不断建立新的关系. 如果企业过多的依赖于现有的合作伙伴关系,将不利于企业分析市场发展趋势,而且较少的信息流动会阻碍企业的创新行为^[44]. 因此,企业会不断与其他企业建立新的联系,这样可以有效降低与原有合作伙伴之间资源的相互依赖性、同时有利于扩展组织的边界以及引进新的知识,从而更好的适应产业创新网络的演进^[45].

企业社会资本 (*SociaCap*),企业能够从直接合作伙伴获得的知识资本 (*know*) 总量,计算方法如式(1)所示

$$SociaCap = \lambda_1 \sum_{i=1}^n \frac{(know_i)^2 conn_i}{know} \quad (1)$$

式中 λ_1 是常数; n 是企业直接合作伙伴的数目; $know$ 是企业自身知识资本, $know_i$ 是企业第 i 个直

接合作伙伴的知识资本, $conn_i$ 是企业与第 i 个直接合作伙伴间联系强度.

企业可利用资源 (*KnowRes*),包括企业自身知识资本 (*know*) 以及企业社会资本 (*SociaCap*). 计算方法如式(2)所示

$$KnowRes = \lambda_2 know + \lambda_3 SociaCap \quad (2)$$

式中 λ_2 和 λ_3 是常数,表示企业知识资本和社会资本各自的权重.

2.1.3 网络节点的进入与退出机制

企业的进入与退出是产业组织理论中的重要研究领域^[46],企业的进入与退出是市场竞争中常见的现象,带有一定的普遍性和规律性^[12,28]. 产业创新网络是个开放系统,网络外的企业通过与网络内的企业建立联系的方式加入到产业创新网络中,同时网络内的企业可能会由于破产清算、转产等原因通过逐渐断开与其它企业的关系而退出网络^[28].

1) 企业的进入机制. 企业是随着时间的发展逐渐进入到模型中的^[47],这与现实中产业创新网络演进的规律一致,使模拟模型更贴近现实. 企业进入产业创新网络的过程中,假设每个时间间隔有 m 家企业准备进入产业创新网络,实际每家企业进入的概率为 p ,那么每个时间间隔实际进入产业创新网络的企业数为 $m \times p$.

2) 企业的退出机制. 企业逐渐退出产业创新网络的过程,也就是企业与产业创新网络中其他企业间关系逐渐断开的过程. 当企业在产业创新网络中的地位 (*Sta*) 低于临界点 (Sta_{cp}) 时,企业选择退出网络. 企业在产业创新网络中的地位 (*Sta*) 主要受企业的关系数目及其联系强度的影响

$$Sta = \frac{Connsum}{\sum_{j=1}^n Connsum_j} \quad (3)$$

式中 *Connsum* 是企业所拥有的关系的联系强度之和; n 是与企业在产业创新网络中的角色相同的企业的数目; $Connsum_j$ 是与企业在产业创新网络中的角色相同的第 j 家企业的关系的联系强度之和.

2.1.4 企业的行为决策

产业创新网络内企业间合作关系的建立是个动态的过程^[48],“合则聚,不合则散”一直贯穿于企业间合作的始终. 在产业创新网络演进过程中,企业间不仅可以建立新的联系,而且可以改变已

经建立的联系,可以强化、弱化或者解除已有联系^[23,36,49],产业创新网络结构等也不断变化^[27].产业创新网络内企业可能采取的行为(*Action*)包括累积研发、建立新联系、深化联系、弱化联系、解除联系以及退出网络等^②.

企业行为决策的目标是最大化自身的利益(*Pro*).企业的利益不仅受到企业可利用资源(*KnowRes*)和产业地位(*Sta*)的影响,而且受到利益相关者对产业预期的影响^[12,50].在该目标的指导下,企业根据当前自身属性(包括企业可利用资源 *KnowRes*、产业地位 *Sta*、企业在产业链上的角色 *FirmRole*、所拥有的联系 *Conn* 以及将要采取的行动 *Action*)、合作伙伴属性以及产业创新网络整体属性(包括产业创新网络内企业的数目 *Num*、企业知识资本总量 *Tknow*、企业间联系总量 *Tconnsum*、产业链均衡度 *Equ* 以及产业预期 *Pre*)等制定决策、采取特定行为,以前的网络演进过程不会影响企业决策^[49].通过仅对前一阶段企业战略决策、行为结果的迭代,体现了产业创新网络演进过程的路径依赖性,同时也有效避免了重复迭代所可能带来的对某一因素或环境的重复计算.

企业利益(*Pro*)受到企业可利用资源(*KnowRes*)、企业产业地位(*Sta*)以及产业层面的产业预期(*Pre*)的影响,其计算方法见式(4)

$$Pro(Pre, KnowRes, Sta) = \mu_1 e^{Sta} \times (\lambda_4 KnowRes + \lambda_5 Pre) \quad (4)$$

式中 μ_1 、 λ_4 、 λ_5 是常数.

产业预期(*Pre*)是产业层面指标,即利益相关者对产业创新网络未来发展状况的评价,受到产业内企业数目(*Num*)、企业知识资本总量(*Tknow*)、企业间联系总量(*Tconnsum*)以及产业链均衡度(*Equ*)的影响,其计算方法如式(5)

$$Pre = (\lambda_6 Num \times Tconnsum + \lambda_7 Tknow) \times Equ \quad (5)$$

式中 λ_6 和 λ_7 是常数.其他相关变量具体含义、计算方法及其关系见附录 A.

根据上述前提假设、逻辑和理论分析,使用 Java 程序语言开发了一套模拟模型来模拟产业创

新网络的演进过程.该模拟模型具有如下特点:1)基于多智能体的模拟;2)智能体有自身的目标和战略决策能力,决策过程一方面受产业创新网络环境的影响,另一方面又会影响到产业创新网络的演进;3)模型中包含了企业的进入和退出机制;4)模型中包含了产业创新网络演进过程中企业间关系的变化,包括建立新联系、深化联系、弱化联系和解除联系等;5)强调了企业知识资本和社会资本对产业创新网络演进的影响;6)基于反馈环,前一阶段的输出是后一阶段的输入.

2.2 智能体交互过程模拟

产业创新网络的演进有两种途径,自生过程(emergent process)和构建过程(engineered process)^[51].自生过程是潜在的合作双方或多方在面临一定的经营环境约束时,为争取共同利益而达成合作的过程;构建过程是具有影响力的个人、企业或政府部门有目的的设计和发起,并通过与其他潜在合作方的沟通,达成合作的过程.通常,产业中的领先企业通过构建过程来主动改变和利用产业创新网络,而后发企业更多表现为通过自生过程参与产业创新网络^[10].本文仿真模型中,构建过程体现为在企业决策过程中,拥有较多知识资本的企业拥有更高的选择权^[52-53],优先采取决策;自生过程体现在,每个企业都根据自身利益最大化的目标,综合考虑自身的可利用资源、产业地位以及产业层面的产业预期来进行决策.

模拟过程包括模型初始化、模拟决策过程和模拟控制机制(见附录 B).1)模型初始化.产业创新网络演进过程模拟需要从某一个时间点切入,即产业创新网络的初始状态.这一初始状态包括:企业数目、每个企业的属性、企业之间的联系以及产业创新网络的整体属性等,在此基础上还要确定模拟循环的次数 *N*.2)模拟决策过程.在每一轮决策开始前,都存在一定数目 *m* 的潜在进入企业,为了更好地与现实产业发展状况匹配,每个潜在进入企业以概率 *p* 选择是否进入产业,新进入的企业必须与产业内已经存在的企业建立联系,进而根据企业的知识资本确定所有企业决策的优先级.知识资本高的企业决策的优先级也

② 企业只有在自身的产业地位下降到某个关键点以后才有可能采取弱化或解除现有联系、退出网络等行为.

高,这样企业按顺序依次进行战略决策、采取行动.在 t 时刻优先级最高的企业 A 计算采取不同行为之后的收益,选择能够使收益最大化的行为^[54],并采取该行为.企业 A 采取行动,不仅改变了自身的知识资本、联系状况和产业地位,也影响了产业创新网络的产业预期和其他企业(与其建立直接或间接联系的企业)的联系状况.当 t 时刻

另外一个企业 B 决策时,就需要重新分析当前的产业创新网络状态,修正对产业创新网络环境的认知;前一次交互过程的结果就是后一次交互过程的初始状态(如图 1 所示).3)模拟控制机制包括阶段性模拟数据的输出(输出数据包括企业的知识资本、企业间联系以及产业创新网络的整体属性)、模拟过程的判断与终止.

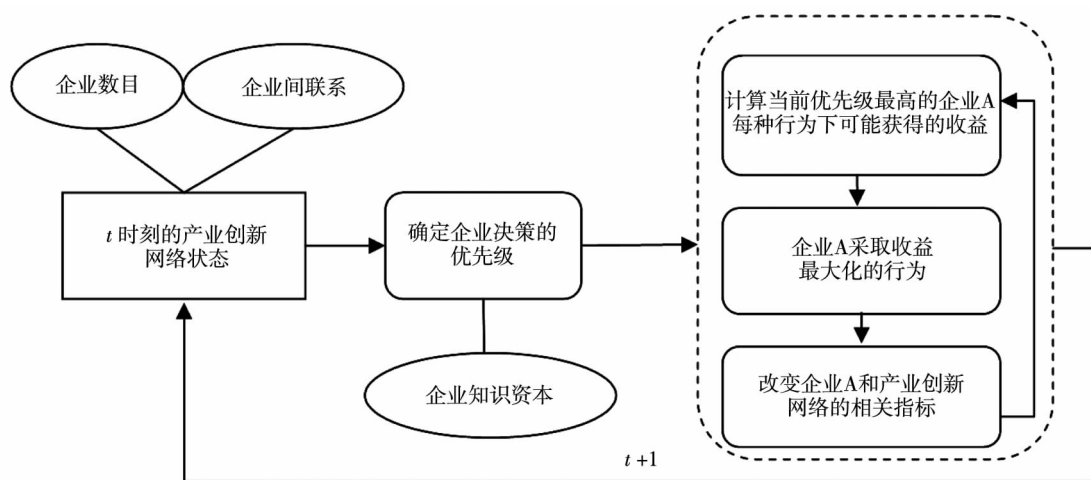


图 1 模拟模型中企业决策过程图

Fig. 1 Decision-making process in the simulation model

2.3 模拟结果

模拟模型经过若干轮的循环生成阶段性结果,包括产业创新网络内企业、企业间合作关系以及产业创新网络整体的状态指标等.企业属性信息包括企业的类型和企业知识资本;产业创新网络信息包含产业创新网络内联系数目、产业预期、企业知识资本总和.另外,输出企业间合作关系数据,包括每条合作关系的企业 A、合作企业 B、联系强度等.

3 中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业创新网络实例分析

为了保证模拟模型有效性,需要将模拟数据与现实数据进行比较,如果两者相匹配,说明模拟模型对该现实环境具有效度^[21,55].本节首先整理、分析中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业创新网络的演进过程数据,根据产业发展的关键数据将其划分为 8 个阶段;进而将其第 1 阶段数据作为初始数据输入模型进行模拟分析;比较模拟

生成数据与产业创新网络现实数据的匹配程度,验证该仿真模型是否能够有效反映产业创新网络演进的特点.

本文选择中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业作为案例研究对象有两个方面的原因:1)从现实角度分析,从 1997 年 TD-SCDMA 技术标准的提出到 2009 年 1 月中国移动正式获批运营基于 TD-SCDMA 标准的 3G 业务,10 年的时间,中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业实现了从无到有、从弱到强、从技术研究到商用的创新和跨越;2)从理论角度分析,中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业演进过程中,产业内存在各种角色的企业,企业间通过采购、研发、专利许可等建立多种关系,由此形成的产业创新网络有效地促进了产业的演进.

3.1 中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业演进过程

谭劲松和林润辉^[3]将中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业 1997 年 7 月至 2006 年 2 月的演进过程划分为 5 个阶段,Lin 等^[56]补充了 2006 年 3 月到 2007 年 10 月的数据,将其划分为 7 个阶

段. 本文在此基础上, 补充了 2007 年 11 月至 2009 年 1 月的数据^③, 根据产业发展的关键事件将中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业从技术标准提出到商用化的过程划分为 8 个阶段(见表 1). 在产业发展之初以技术标准研发和产品研发为主, 进而转移到产业化联盟和商业化联盟, 经过预商用测试、芯片和终端测试以及规模网络测试等, 最终通过 3G 运营牌照的发放, 实现了 TD-SCDMA 技术标准的商用.

表 1 中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业发展历程^[3,56]

Table 1 Evolution process of the 3G industry based on TD-SCDMA standard in China^[3,56]

阶段	时间段	主要特点
第 1 阶段	1997-07 ~ 2001-09	标准研发与被认可
第 2 阶段	2001-10 ~ 2002-10	产品研发联盟
第 3 阶段	2002-11 ~ 2003-12	产业链联盟
第 4 阶段	2004-01 ~ 2005-04	商业化联盟
第 5 阶段	2005-05 ~ 2006-02	预商用阶段
第 6 阶段	2006-03 ~ 2007-02	芯片和终端测试阶段
第 7 阶段	2007-03 ~ 2007-11	规模网络测试阶段
第 8 阶段	2007-12 ~ 2009-01	商用阶段

在产业发展过程中, 企业间建立了多种合作关系, 来促进技术标准的商用化以及产业的创新发展. 企业间关系数据大多数源于公开数据, 包括政府和产业内公开发表的相关档案资料、TDIA^④官方网站、TDIA 成员企业官方网站及上市公司年报、新闻报道、正式出版物等. 根据企业间关系的特点, 将其划分为共同愿景、联合推广、采购关系、组织联系、资源注入、专利许可、联合测试、共同研发和联合建网九种类型, 其具体含义和关系强度如表 2 所示.

如上所述, 本文采用公开报道的产业内企业以及企业间关系信息来构建 8 个阶段的产业创新网络图^[57], 多种数据来源相互补充、交叉验证. 数据收集采用了滚雪球式的获取方法^[58]: 首先根据专家访谈及各种公开信息, 确定产业内的核心企

业; 然后查找与核心企业建立联系的其他企业, 以此类推, 直至没有新的企业出现. 这样就收集了产业内主要企业以及企业间的联系数据, 构建了相对完整的产业创新网络演进过程(见图 2). 案例数据包括每个阶段 TD-SCDMA 标准的 3G 产业中的企业、企业之间的联系以及由这些企业及其联系所组成的中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业创新网络整体状况.

表 2 企业间关系界定与关系强度^[3,56]

Table 2 Strength of inter-organizational cooperation relationship^[3,56]

关系类型	关系强度	备注
共同愿景	1	企业共同参与了 TD-SCDMA 技术论坛, 表示了彼此的合作意向, 但并没有实际的合作行为
联合推广	2	在产业发展的初期, 企业共同进行技术标准的推广, 以扩大技术标准的影响力
采购关系	3	企业处于供应链的上下游, 彼此之间通过合同或协议而形成的长期采购行为
组织联系	4	主要表现为企业共同加入 TD-SCDMA 产业联盟
资源注入	5	主要表现为企业之间以合资、入股、投资等形式建立的合作关系
专利许可	6	企业之间通过协议或其它形式约定共享各自持有的专利技术
联合测试	7	企业联合起来对某种通讯设备或某个技术方案进行的技术测试
共同研发	8	企业通过建立实验室或其它方式进行共同研发
联合建网	9	企业共同建立技术标准的试验网

样本选择包括中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业内几乎所有的大中型企业, 由于小企业的信息披露不够规范和及时, 他们的时间序列数据(特别是企业间联系数据)难以获得. 在此基础上, 剔除那些虽然公开宣布但是并没有真正合作行为的企业间联系以及那些明确宣布终止的联系. 如果在 2009 年 1 月之前没有明确信息显示两企业间的联系已经终止, 则认为其仍然存在^[59]. 大多数成员企业及其联系信息都采用了两种数据来源进行交叉验证. 案例数据收集完成、初步分析整理后, 将其提交给 TDIA 业内专家, 得到了积极的反馈, 这增加了案例数据的可信度.

③ 之所以截止到 2009 年 1 月, 是由于 2009 年 1 月中国工业与信息化部正式向中国移动颁发了基于 TD-SCDMA 标准的 3G 业务经营许可证, 标志着其正式进入了商用化阶段.

④ TD-SCDMA 产业联盟(TD-SCDMA Industry Alliance), <http://www.tdscdma-alliance.org/>.

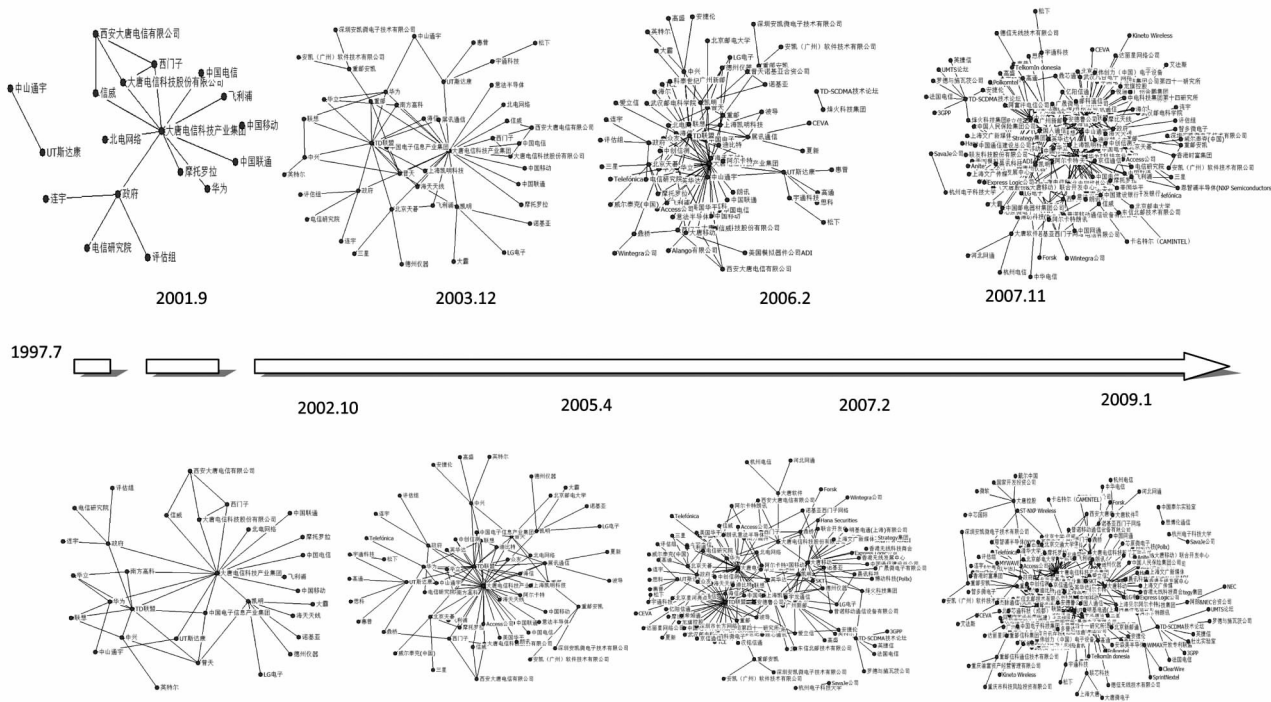


图2 中国基于TD-SCDMA标准的3G产业创新网络演进过程图^[3,56]

Fig. 2 Evolution process of the 3G industry based on TD-SCDMA standard in China^[3,56]

3.2 实例与模拟比较分析

初始条件在很大程度上影响、甚至决定产业创新网络的发展状况^[60,13]。因此,本文以中国基于TD-SCDMA标准3G产业发展第1阶段的数据作为输入数据,用后7个阶段的数据与模拟数据进行比较,修改模拟模型中参数的取值,以验证并提高仿真模型的拟合优度,分析该仿真模型是否能够有效反映产业创新网络演进的特点。第1阶段的数据包括产业网络内以大唐电信科技产业集团为首的18家企业、企业之间存在的20个联系以及由这18家企业和20个联系关系所构成的中国基于TD-SCDMA标准的3G产业网络的初始状态(见图2中2001年9月产业网络图)。

用中国基于TD-SCDMA标准的3G产业的演进数据来验证、优化模拟模型的过程分为3步:1)首先在统计中国基于TD-SCDMA标准的3G产业发展的8个阶段企业数目以及企业间联系数目的基础上,用网络分析工具UCINET VI计算每个阶段的产业网络的网络指标,包括网络密度^⑤和集聚

系数^⑥;2)采用同样的方法,计算模拟模型生成的数据相应阶段(与实例数据拥有相同企业数目)的各个网络指标;3)将对应阶段的实例数据与模拟数据的网络指标进行对比,比较两者是否拥有相同(或相似)的网络结构。如果模拟数据与实例数据没有显著的差异,就说模拟模型能够较好地拟合现实,该模型能够有效反映产业创新网络演进的特点。模拟数据与实例数据分析结果如表3所示。

表3 实例数据与模拟模型所生成的数据对应阶段网络指标对比表
Table 3 Comparison of the measurements of the empirical and simulation network

阶段	联系数目		网络密度		集聚系数	
	案例	模拟	案例	模拟	案例	模拟
第1阶段	20	20	0.674	0.674	1.225	1.225
第2阶段	47	41	0.538	0.445	1.860	0.847
第3阶段	74	67	0.211	0.386	1.307	1.201
第4阶段	112	118	0.155	0.362	1.634	1.913
第5阶段	133	164	0.121	0.328	1.258	1.668
第6阶段	234	258	0.082	0.257	1.072	2.177
第7阶段	306	309	0.064	0.201	0.877	2.065
第8阶段	375	383	0.051	0.159	0.870	2.120

⑤ 网络密度(network density),产业网络中企业间联系的实际数目与其最大可能数目之比(0~1),主要用来测量产业网络中企业间联系的密切程度。当实际联系数目越接近于产业网络中所有可能联系的总数时,网络密度越大,反之越小。

⑥ 集聚系数(clustering coefficient)体现了产业网络的集团化程度,单个企业的集聚系数是其合作企业相互间联系的紧密程度的度量,产业网络的集聚系数是单个企业集聚系数的平均值。

为了比较实例数据与模拟数据的差异程度, 本文采用了秩和检验. 采用 SPSS 软件计算得到两个样本比较的显著性(见表 4), 无论是渐近显著性还是精确显著性都大于 0.1, 表明两样本间不存在明显的差异, 这说明模拟模型生成的数据可以有效地拟合现实, 证明了模拟模型的有效性, 即该模拟模型能够有效反映产业创新网络演进的特点. 正如 Friedman^[61] 提出的, 模拟模型是否与现实完全一致是没有关系的, 只要模型的预测结果与实际实例相一致, 就能够从模型中得到可以适用于现实世界的结论^[62].

表 4 实例数据与模拟数据拟合优度检验

Table 4 Goodness of fit of empirical data and simulation data

比较的显著性	联系数目	网络密度	集聚系数
渐近显著性	0.875	0.103	0.156
精确显著性 2 × 单侧显著性	0.878	0.105	0.161

4 结束语

产业创新网络演进过程是产业内企业之间合作、互动的动态过程, 是基于企业个体决策引起的产业创新网络结构演化、网络资源积累的过程. 企业间合作贯穿于产业创新网络演进的全过程, 企业节点及其相互关系构成产业创新网络结构, 知识资本和社会资本是产业网络创新的基础, 企业的进入与退出机制以及企业的行为决策影响产业创新网络的演进过程. 通过模拟结果与中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业创新网络数据的比较分析可以看出, 模拟模型能够有效的与现实产业创新网络发展数据相匹配, 说明该模型能够有效反映产业创新网络演进的特点, 模拟仿真真是研究产业创新网络演进机制的有效方法.

模拟方法可以“将企业间联系的研究由双边关系扩展到整个产业网络之中”^[27]. 在模拟模型的校验与优化部分, 为了与中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业现实数据进行比较, 只选取了 8 个阶段的模拟数据. 根据仿真模拟方法的特点, 可以将时间段进一步细化, 分析不同时点产业网络的特点, 为产业创新网络演进问题的实证研究提供数据支持. 本文用模拟模型分析不同时间细分状况下(分别经过 6 个阶段、20 个阶段和 40 个阶段的演化), 从产业创新网络的初始状态到最终

状态的过程中, 产业创新网络知识资本总量的演进趋势(见图 3), 可以看到不同时间细分状况下该指标的演进趋势基本一致, 表明可以通过模拟方法来补充产业创新网络演进过程的中间过程数据, 进而以模拟数据为基础实证分析产业创新网络演进的内在规律、预测产业发展趋势等.

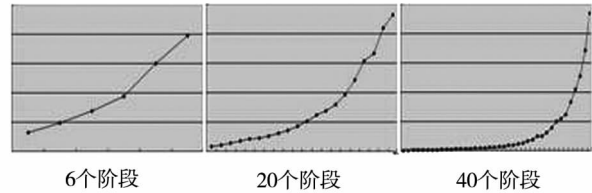


图 3 产业创新网络知识资本演进趋势图

Fig. 3 Evolution of the intellectual capital in the industrial innovation network

本文在理论维度, 将企业的战略能动性、主体间互动以及产业网络的演化与创新结合起来进行分析, 揭示了产业创新网络演进的一般规律, 扩展了基于知识资本和社会资本的产业创新模型以及基于企业间合作的产业协同创新行为模型; 方法维度, 验证了基于多智能体的模拟仿真方法对分析产业创新网络演进机制的有效性, 为进一步深入揭示产业创新网络的演进规律、预测产业创新网络发展方向打下了基础.

本文研究存在不尽之处, 未来可以从多个角度进行深入研究.

首先, 针对模拟方法本身存在的局限性: 模拟方法简洁、普适性高, 但是在一定程度上可能牺牲了理论的精确性^[63]. 不同的产业演化呈现不同的特点, 而且在不同的历史阶段同一产业发展演化的路径不同, 现实环境复杂多变, 产业的发展受多种偶然因素的影响, 这些特点无法有效地在模拟模型中体现出来. 未来的研究可以在模型中强化外部环境中偶发因素、复杂因素的作用, 收集中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业更详尽的一手数据或者更多其它产业网络的数据, 进一步提高模型的有效性, 通过不同产业创新网络演进过程的比较分析丰富产业创新网络的演进机制.

第二, 深入分析产业网络的具体演进机制, 特别是产业演进过程中企业战略、企业间联盟关系的变化机理以及在此基础上所构建的产业创新网络结构、网络治理机制的演进机制. 本文在理论分析基础上, 初步模拟了产业创新网络的演进机制,

但是没有揭示产业网络中各要素间的具体作用机制,特别是影响企业创新绩效、产业网络演进的要素及其相互间影响关系.未来研究可以深化对模拟数据的分析,探讨产业创新网络演进过程中各要素间是如何相互影响、协同演进的^[20],以及骨干企业作为关键节点在产业网络演化和成长中的作用^[64].

第三、深入分析产业创新网络演进过程中,不同层面的各种要素,例如产业创新网络结构(产业层面)、企业自中心合作网络属性(网络层面)、产业政策(产业层面)^[4]、制度环境(宏观层面)^[65]等企业网络创新机制的影响及其变化,构建跨层次理论分析模型,揭示基于合作网络嵌入的企业创新机制及其演化规律.

参 考 文 献:

- [1] Morris R C, Ferguson C H. How architecture wins technology wars? [J]. Harvard Business Review, 1993, 71(3): 160, 163, 166 - 170.
- [2] Hill C W L. Establishing a standard: Competitive strategy and technological standards in winner-take-all industries [J]. Academy of Management Executive, 1997, 11(2): 7 - 25.
- [3] 谭劲松, 林润辉. TD-SCDMA 与电信行业标准竞争的战略选择 [J]. 管理世界, 2006, (6): 71 - 84.
Tan Justin, Lin Runhui. TD-SCDMA, and the strategic selection in the competition of standards of telecommunication industry [J]. Management World, 2006, (6): 71 - 84. (in Chinese)
- [4] Tan J, Zhang H, Wang L. Network closure or structural hole? The conditioning effects of network-level social capital on innovation performance [J]. Entrepreneurship Theory and Practice, 2015, 39(5): 1189 - 1212.
- [5] Granovetter M. Economic action and social structure: The problem of embeddedness [J]. The American Journal of Sociology, 1985, 91(3): 481 - 510.
- [6] Gulati R. Alliances and networks [J]. Strategic Management Journal, 1998, 19(4): 293 - 317.
- [7] Lee S, Park G, Yoon B, et al. Open innovation in SMEs: An intermediated network model [J]. Research Policy, 2010, 39(2): 290 - 300.
- [8] Nambisan S, Sawhney M. A buyer's guide to the innovation bazaar [J]. Harvard Business Review, 2007, 85(6): 109 - 116, 118, 142.
- [9] Browning L D, Meyer J M, Shetler J C. Building cooperation in a competitive industry: Sematech and the semiconductor industry [J]. The Academy of Management Journal, 1995, 38(1): 113 - 151.
- [10] 刘宏程, 仝允桓. 产业创新网络与企业创新路径的共同演化研究: 中外 PC 厂商的比较 [J]. 科学学与科学技术管理, 2010, (2): 72 - 76.
Liu Hongcheng, Tong Yunhuan. The co-evolution of industrial innovation network and path to innovation: Domestic enterprise comparison to foreign enterprise [J]. Science of Science and Management of S. & T., 2010, (2): 72 - 76. (in Chinese)
- [11] Baum A C J, Cowan R, Jonard N. Network-independent alliance selection and innovation networks [J]. Management Science, 2010, 56(11): 2094 - 2110.
- [12] Gallant A R, Hong H, Khwaja A. The dynamics spillovers of entry: An application to the generic drug industry [J]. Management Science, 2018, 64(3): 983 - 1476.
- [13] Powell W W, White D R, Koput K W, et al. Network dynamics and field evolution: The growth of inter-organizational collaboration in the life sciences [J]. American Journal of Sociology, 2005, 110(4): 1132 - 1205.
- [14] Hakansson H. Industrial Technological Development: A Network Approach [M]. London: Croom Helm Ltd, 1992: 66 - 75.
- [15] Karlsson C. The development of industrial networks; Challenges to operations management in an extraprise [J]. International Journal of Operations and Production Management, 2003, 23(1): 44 - 61.
- [16] Bartlett C, Ghoshal S. Managing Across Borders: The Transnational Solution [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1989.
- [17] Koza M P, Lewin A Y. The coevolution of network alliances: A longitudinal analysis of an international professional service network [J]. Organization Science, 1999, 10(5): 638 - 653.

- [18] Imai K, Baba Y. Systemic innovation and cross-border networks: Transcending markets and hierarchies[R]. OECD Conference on Science, Technology and Economic Growth, Paris, 1989.
- [19] Bonaccorsi A, Giuri P. Network structure and industrial dynamics: The long term evolution of the aircraft-engine industry [J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2001, 12(2): 201 – 223.
- [20] Murmann P J. The coevolution of industries and important features of their environments[J]. *Organization Science*, 2013, 24(1): 58 – 78.
- [21] Davis P J, Eisenhardt M K, Bingham B C. Developing theory through simulation methods[J]. *Academy of Management Review*, 2007, 32(2): 480 – 499.
- [22] 张红娟, 谭劲松. 联盟网络与企业创新绩效: 跨层次分析[J]. *管理世界*, 2014, (3): 163 – 169.
Zhang Hongjuan, Tan Justin. Alliance network and organizational innovation performance: A cross-level analysis[J]. *Management World*, 2014, (3): 163 – 169. (in Chinese)
- [23] Ahuja G, Soda G, Zaheer A. The genesis and dynamics of organizational networks[J]. *Organization Science*, 2012, 23(2): 434 – 448.
- [24] Tan J, Tan D. Environment-strategy coevolution and coalignment: A staged-model of Chinese SOEs under transition[J]. *Strategic Management Journal*, 2005, 26(2): 141 – 157.
- [25] Courdier R, Guerrin F, Andriamasinoro F H, et al. Agent-based simulation of complex systems: Application to collective management of animal wastes[J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2002, 5(3): 30 – 56.
- [26] 李永立, 陈 杨, 樊宁远, 等. 考虑个体效用因素的社会网络演化分析模型[J]. *管理科学学报*, 2018, 21(3): 41 – 53.
Li Yongli, Chen Yang, Fan Ningyuan, et al. Utility-based model for interpreting evolution patterns of social networks[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(3): 41 – 53. (in Chinese)
- [27] Lin Z J, Yang H B, Demirkan I. The performance consequences of ambidexterity in strategic alliance formations: Empirical investigation and computational theorizing[J]. *Management Science*, 2007, 53(10): 1645 – 1658.
- [28] 李守伟, 程发新. 基于企业进入与退出的产业网络演化研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2009, (6): 135 – 139.
Li Shouwei, Cheng Faxin. Research on the evolution of industrial networks based on the entry and exit of enterprise[J]. *Science of Science and Management of S. & T.*, 2009, (6): 135 – 139. (in Chinese)
- [29] Castro I, Casanueva C, Galán J L. Dynamic evolution of alliance portfolios[J]. *European Management Journal*, 2014, 32(3): 423 – 433.
- [30] 吕一博, 程 露, 苏敬勤. 组织惯性对集群网络演化的影响研究——基于多主体建模的仿真分析[J]. *管理科学学报*, 2015, 18(6): 30 – 40.
Lü Yibo, Cheng Lu, Su Jingqin. The impact of organizational inertia: A multi-agent simulation research on cluster network evolution[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(6): 30 – 40. (in Chinese)
- [31] Axelsson B, Easton C. *Industrial Networks: A New View of Reality*[M]. London: Routledge, 1992.
- [32] Wang C, Rodan S, Fruin M, et al. Knowledge network, collaboration networks and exploratory innovation[J]. *Academy of Management Journal*, 2014, 57(2): 484 – 514.
- [33] Gubbins C, Dooley L. Exploring social network dynamics driving knowledge management for innovation[J]. *Journal of Management Inquiry*, 2014, 23(2): 162 – 185.
- [34] Granovetter M. The strength of weak ties[J]. *American Journal of Sociology*, 1973, 78(6): 1360 – 1380.
- [35] Repping N P. A simulation-based approach to understanding the dynamics of innovation implementation[J]. *Organization Science*, 2002, 13(2): 107 – 127.
- [36] Wilson J, Hynes N. Co-evolution of firms and strategic alliances: Theory and empirical evidence[J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2009, 76(5): 620 – 628.
- [37] Tortoriello M, Krackhardt D. Activating cross-boundary knowledge: The role of simmelian ties in the generation of innovations[J]. *Academy of Management Journal*, 2010, 53(1): 167 – 181.
- [38] 李 健, 余 悦. 合作网络结构洞、知识网络凝聚性与探索式创新绩效: 基于我国汽车产业的实证研究[J]. *南开管理评论*, 2018, 21(6): 121 – 130.
Li Jian, Yu Yue. Structural holes in collaboration network, cohesion of knowledge network and exploratory innovation performance: An empirical study on the Chinese automakers[J]. *Nankai Business Review*, 2018, 21(6): 121 – 130. (in Chinese)

Chinese)

- [39] Kogut B, Zander U. Knowledge of the firm and the evolutionary theory of the multinational corporation[J]. *Journal of International Business Studies*, 1993, 24(4): 625–645.
- [40] Bekkers R, Duysters G, Verspagen B. Intellectual property rights, strategic technology agreements and market structure: The case of GSM[J]. *Research Policy*, 2002, 31(7): 1141–1161.
- [41] 寿柯炎, 魏江. 后发企业如何构建创新网络[J]. *管理科学学报*, 2018, 21(9): 23–37.
Shou Keyan, Wei Jiang. How to build innovation network for latecomers: From the perspective of knowledge configuration [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(9): 23–37. (in Chinese)
- [42] Uzzi B. The sources and consequences of embeddedness for the economic performance of organizations: The network effect [J]. *American Sociological Review*, 1996, 61(4): 674–698.
- [43] Burt R S. Structural holes and good ideas[J]. *American Journal of Sociology*, 2004, 110(2): 349–399.
- [44] Powell W W, Koput K W, Smith-Doerr L. Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1996, 41(1): 116–145.
- [45] Burt R S. The network structure of social capital[J]. *Research in Organizational Behavior*, 2000, (22): 345–423.
- [46] Klepper S. Entry, exit, growth, and innovation over the product life cycle[J]. *American Economic Review*, 1996, 86(3): 562–583
- [47] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. *Science*, 1999, 286(5439): 509–512.
- [48] Dyer J H, Nobeoka K. Creating and managing a high performance knowledge-sharing network: The Toyota case[J]. *Strategic Management Journal*, 2000, 21(4): 345–367.
- [49] Snijders T A B, Van De Bunt G G, Christian S. Introduction to stochastic actor-based modeling for network dynamics[J]. *Social Networks*, 2010, 32(1): 44–60.
- [50] Cowan R, Jonard N, Zimmermann J B. Bilateral collaboration and the emergence of innovation networks[J]. *Management Science*, 2007, 53(7): 1051–1067.
- [51] Doz Y L, Olk P M, Ring P S. Formation processes of R&D consortia: Which path to take? Where does it lead? [J]. *Strategic Management Journal*, 2000, 21(3): 239–266.
- [52] Bianconi G, Barabasi A-L. Competition and multiscaling in evolving networks[J]. *Europhysics Letters*, 2001, 54(4): 436–442.
- [53] 党兴华, 王幼林. 技术创新网络中核心企业合作伙伴选择过程研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2007, (1): 139–144.
Dang Xinghua, Wang Youlin. Study on process of the core enterprise's cooperative partner selection in techinnovation network[J]. *Science of Science and Management of S. & T.*, 2007, (1): 139–144. (in Chinese)
- [54] Rivkin J W. Imitation of complex strategies[J]. *Management Science*, 2000, 46(6): 824–844.
- [55] Adner D, Levinthal D A. Demand heterogeneity and technology evolution: Implications for product and process innovation [J]. *Management Science*, 2001, 47(5): 611–628.
- [56] Lin R, Zhang H, Fan J, et al. Alliance network and innovation: Evidence from China's third generation mobile communications industry[J]. *Journal of Asia Business Studies*, 2012, 6(2): 197–222.
- [57] Schilling M A, Phelps C C. Interfirm collaboration networks: The impact of large-scale network structure on firm innovation [J]. *Management Science*, 2007, 53(7): 1113–1126.
- [58] Laumann E O, Pappi F U. *Networks of Collective Action*[M]. New York: Academic Press, 1976.
- [59] Ahuja G. Collaboration networks, structural holes, and innovation: A longitudinal study[J]. *Administrative Science Quarterly*, 2000, 45(3): 425–455.
- [60] Demirkan I, Deeds D L, Demirkan S. Exploring the role of network characteristics, knowledge quality, and inertia on the evolution of scientific networks[J]. *Journal of Management*, 2013, 39(6): 1462–1489.
- [61] Friedman M. *Essays in Positive Economics*[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1953.
- [62] Cohen K J, Cyert R M. Simulation of Organizational Behavior[M]// March J G. (ed.), *Handbook of Organizations*, Chicago: Rand McNally, 1965: 305–334.
- [63] 谭劲松. 关于管理研究及其理论和方法的讨论[J]. *管理科学学报*, 2008, 11(2): 145–152.
Tan Justin. Reflection on management research: Theory and methods[J]. *Journal of Management Sciences in China*,

2008, 11(2): 145 – 152. (in Chinese)

[64] Tan D, Tan J. Far from the tree? Do private entrepreneurs agglomerate around public sector incumbents during economic transition? [J]. *Organization Science*, 2017, 28(1): 113 – 132.

[65] Vasudeva G, Zaheer A, Hernandez E. The embeddedness of networks: Institutions, structural holes, and innovativeness in the fuel cell industry[J]. *Organization Science*, 2013, 24(3): 645 – 663.

Modeling and analyzing the evolution mechanism of industrial innovation network

TAN Justin^{1,2}, ZHANG Hong-juan^{1*}, LIN Run-hui³

1. College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Schulich School of Business, York University, Toronto M3J193, Canada;

3. Business School, Nankai University; China Academy of Corporate Governance, Nankai University, Tianjin 300071, China

Abstract: Industrial innovation network is composed of innovation orientated firms and relationships among them. Studying the evolution mechanism of industrial innovation network is of great importance. However, there are few research achievements in this field, especially the quantitative ones. Based on social network theory, the paper describes the industrial innovation network as network of innovation oriented firms, with knowledge network and social network as the basis of network innovation, and the entry and exit of firms together with firms' decision making forming the evolution of industrial innovation network. Multi-agent simulation model based on the above hypotheses is built to analyze the evolution mechanism of industrial innovation networks. The evolution of the third generation mobile communications (3G) industry based on TD-SCDMA technical standard in China shows that the simulation model can to some extent reflect the characteristics of the evolution mechanism of industrial innovation networks, and that simulation is an effective method for interpreting the evolution mechanism of industrial innovation networks.

Key words: industrial innovation network; network evolution; simulation

附录 A 主要指标及其关系说明

1) 企业层面变量

know: 企业内部知识资本, 每个企业自身所拥有的知识资本;

SociaCap: 企业社会资本, 企业能够从直接合作伙伴获得的知识资本总量, 其计算式为

$$SociaCap = \lambda_1 \sum_{i=1}^n \frac{conn_i \times (know_i)^2}{know} \quad (A1)$$

式中 λ_1 是常数; n 是企业直接合作伙伴的数目; $know$ 是企业自身知识资本, $know_i$ 是企业第 i 个直接合作伙伴的知识资本; $conn_i$ 是企业与第 i 个直接合作伙伴间联系强度;

KnowRes: 企业可利用资源, 包括企业知识资本 (*know*) 以及企业社会资本 (*SociaCap*), 其计算式为

$$KnowRes = \lambda_2 know + \lambda_3 SociaCap \quad (A2)$$

式中 λ_2 和 λ_3 是常数, 表示企业知识资本和社会资本各自的权重;

Conn: 企业间关系强度, 取值范围: 1 到 k 的整数;

Connsum: 企业所拥有的关系强度之和 (企业的直接关系), 其计算式为

$$Connsum = \sum_{i=1}^n Conn_i \quad (A3)$$

式中 n 为与企业建立直接关系的合作伙伴的数目;

FirmRole: 企业在产业创新网络中的角色, 以中国基于 TD-SCDMA 标准的 3G 产业为例, 产业内包括 5 种类型的

企业,包括技术标准提出者、应用研发商、设备提供商、运营商以及其他(例如政府、产业联盟、研究机构等);
Sta:企业在产业网络中的地位,主要受企业的关系数目及其联系强度的影响,其计算式为

$$Sta = \frac{Connsum}{\sum_{j=1}^m Connsum_j} \tag{A4}$$

式中 *Connsum* 为企业所拥有的关系强度之和;*m* 为与企业在产业创新网络中的角色相同的企业的数目;*Connsum_j*是与企业在产业创新网络中的角色相同的第 *j* 个企业的关系强度之和;

Pro:企业在某一网络状态下所可能获得的收益,其计算式为

$$Pro(Pre, KnowRes, Sta) = \mu_1 \times e^{Sta} (\lambda_4 \times KnowRes + \lambda_5 \times Pre) \tag{A5}$$

式中 μ_1 、 λ_4 、 λ_5 是常数; *Pre* 是产业预期(在“产业创新网络层面指标”部分具体说明);

Action:企业所采取的行为,包括累积研发、建立新联系、深化联系、弱化联系、解除联系以及退出网络等.

2) 产业创新网络层面指标

Num:产业创新网络中企业的数目;

Tknow:产业创新网络内企业所拥有的知识资本总量,其计算式为

$$Tknow = \sum_{i=1}^n know_i \tag{A6}$$

式中 *n* 是产业创新网络内企业的数目;

Tconnsum:产业创新网络内企业间所有关系的联系强度之和,其计算式为

$$Tconnsum = \sum_{i=1}^n Connsum_i \tag{A7}$$

式中 *n* 是产业创新网络内企业间关系的数目;

Equ:产业链均衡度,代表当前产业创新网络是否每种角色的企业都有.当产业链不完整时,取作固定的值;当产业链完整时,其计算式为

$$Equ = \frac{1}{\sum_{i=2}^k \left(\frac{tknow[i]}{tknow[1]} - \delta_i \right)^2 + 1} \tag{A8}$$

式中 δ_i 是常数; *k* 是产业创新网络内 *FirmRole* 的数目; *tknow*[*i*] 是第 *i* 类角色的企业的知识资本总量;

Pre:产业预期,即利益相关者对产业网络未来发展状况的评价,其计算式为

$$Pre = (\lambda_6 Num \times Tconnsum + \lambda_7 Tknow) Equ \tag{A9}$$

式中 λ_6 和 λ_7 是常数.

附录 B 模型运行过程

模拟模型由一个特定的起点开始运行,模型的运行过程包括模型初始化、模拟过程以及模拟控制机制:

(1) 模型初始化

1. 确定产业网络的初始状态,包括企业、企业的角色、知识资本、企业间关系及其强度,以及产业创新网络整体的发展状态(包括企业数目、产业创新网络内企业所拥有的知识资本总量、产业创新网络内企业间关系的联系强度总和等);

2. 确定模拟循环的最大次数 *N*;

(2) 模拟过程

3. 开始第 *i* 次循环;

4. 确定每次循环新进入产业的企业数 *m*;

5. 产生该阶段所要进入该产业的企业,并确定企业的角色和知识资本;

6. 根据企业所拥有的知识资本决定企业决策的优先级;

7. 当前优先级最高的企业采取决策,是否采取行为以及采取何种行为;

8. 根据企业采取的行动,调整企业的知识资本、企业联系的数目、联系强度、企业的产业地位以及产业预期;

9. 判断是否所有的企业都已经采取行动.是,进入 10;不是,返回 7;

(3) 模拟控制机制

10. 输出此次循环后的中间状态结果:企业知识资本、企业间关系、企业间联系强度以及产业网络属性等;

11. 判断循环次数是否达到了最大可能次数 *N*,如果没有,则返回到 4;如果达到 *N*,则退出终止循环,退出模拟.