

知识搜索行为与区域创新网络演化

吕一博, 程 露, 苏敬勤

(大连理工大学管理与经济学部, 辽宁 大连 116024)

摘要: 基于知识流动的视角, 将区域创新网络视为个体知识搜索行为驱动的知识扩散、转移和创造的复杂自适应系统, 对其发展演化的规律和特点进行研究, 并建立区域创新网络演化的多主体仿真模型, 对不同知识搜索行为下区域创新网络的演化特征进行分析和探讨. 研究表明, 个体的知识搜索方式主要包括基于“中间人”的结构性搜索和基于“声誉”吸引的声誉搜索, 而不同的类型知识搜索行为会使区域创新网络的绩效有所差别, 并决定了区域创新网络的演化轨迹.

关键词: 知识搜索行为; 创新网络; 复杂自适应系统; 多主体仿真

中图分类号: C935 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-5781(2014)06-0725-09

Knowledge search and the evolution of regional innovation network

Lü Yibo, Cheng Lu, Su Jingqin

(Faculty of Management and Economics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The features of knowledge diffusion, transfer and creation motivated by knowledge search of agents within regional innovation networks, a type of complex adaptive systems, are studied in this paper based on the knowledge flow perspective. Then, a multi-agent simulation model is constructed, which facilitates the analysis of the evolutionary rules and characteristics of regional innovation networks motivated by different knowledge search behaviors. The research has shown that there are two types of agents' knowledge search: structural search based on a "middleman" and a reputation search based on "prestige attraction". Different knowledge search behaviors leads to different network performances. The evolutionary trajectory of regional innovation networks is determined by the agents' knowledge search.

Key words: knowledge search; innovation network; complex adaptive system; multi-agent simulation

1 引 言

区域创新网络的发展能够形成一个技术知识分享、合作创新的环境氛围, 促进技术知识在区域内不同创新个体之间的自由流动的转移扩散, 进而提升地区的竞争优势^[1,2]. 技术知识在区域内的流动不仅是创新网络的重要表征, 也是创新网络形成和发展的前提和基础. 一方面, 区域创新网络的存在有助于网络成员实现促进创新的知识获取行为^[3]; 另一方面, 网络成员创新活动衍生的知识搜索及获取行为会改变创新网络结构及边界, 推动区域创新网络的变迁^[4]. 但现有研究较少从知识流动的视角研究创新网络的演化现象^[5], 对

收稿日期: 2012-07-21; 修订日期: 2012-12-10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70902032; 71033002); 教育部博士点基金资助项目(20090041120014); 教育部人文社科基金资助项目(09YJC630015); 辽宁省社科联经济社会发展立项课题资助项目(2011Lslktglx-30); 辽宁省社会科学规划基金资助项目(L11BJY024).

引起知识流动的知识搜索行为也缺乏进一步的细化研究^[6]. 而近来, 随着区域创新网络理论与实践发展的不断深化, 越来越多的学者开始认同并将区域创新网络视为复杂自适应系统(CAS), 认为网络主体的行为是其发展演化的基本驱动力^[7-9].

因此, 本文基于网络主体的知识搜索行为视角, 将区域创新网络视为个体知识搜索行为驱动的知识扩散、转移和创造的复杂自适应系统, 对其发展演化的规律和特点进行研究. 首先, 本文探索性的提出一个个体知识搜索行为的分析框架, 在此基础上, 构建区域创新网络演化的多主体(multi-agent)仿真模型, 对知识搜索行为与区域创新网络演化的关系进行分析和探讨.

2 个体知识搜索行为的分析框架

在组织和行为的相关研究中, 知识搜索(knowledge search)最早是指组织通过“搜寻-获取-利用”外部知识解决不确定世界中的问题的一种行为^[10]. 随着知识搜索概念在不同学科领域的应用, 众多学者从不同角度丰富和发展了其概念内涵. 文献[11]将知识搜索定义为跨越组织边界和跨越技术边界的搜索组合. 在此基础上, 文献[12]从“技术-空间”两个维度来考察知识的跨边界搜索和跨地域搜索. 文献[13,14]则从对已有知识源利用的程度和新知识源探索的广泛性将知识搜索界定为“搜索深度”和“搜索广度”两个层面.

现有文献大多是个体视角对知识搜索行为的研究, 较少从创新网络层面关注个体知识搜索行为. 因此, 有必要从网络拓扑结构和个体的知识搜索诉求两方面综合考量创新网络中个体的知识搜索行为, 本文仅关注同创新网络拓扑结构相关的“搜索广度”层面. 在区域创新网络的知识搜索中, 一方面, 个体会依据已有的联系和面临的网络拓扑结构, 寻找同质性或亲近性的知识源^[15]; 另一方面, 个体也会突破现有的联系及网络拓扑结构的限制, 依据自身的知识搜索诉求与知识资源丰富的强创新扩散源建立联系^[13]. 基于此, 本文从网络嵌入式的“结构性搜索”和创新源吸引的“声誉搜索”两方面构建创新网络中个体知识搜索的分析框架.

2.1 结构性搜索规则 A_s

关于网络嵌入式的“结构性搜索”, 最早起源于社会网络研究中提出的“中间人”概念. Burt^[16]指出, “中间人”是行动者之间进行信息和资源传递的桥梁. 在个体的知识搜索过程中, 相当一部分技术知识是依托“中间人”的关系网络获得的. 文献[17]对德国16个区域创新网络近300家企业的实地调查发现, 较高比例的知识是通过“中间人”(如客户、供应商及中介等)的关系网络获得. 文献[18]认为集群内企业技术学习的主要途径就是从相邻的各种知识源(如客户、供应商及公共技术部门等)获得所需的知识. Holme^[19]采用“三角构成规则”这一概念描述这种类型的搜索行为. Snijders等^[15]将这种通过“中间人”寻找合作伙伴的现象形象地称为“朋友的朋友是朋友”, 并将其应用于网络合作的博弈模型中. 考虑到个体知识搜索的方向性, 借鉴Robins等^[20]对有向网络“三角环”(triadic closure)的研究成果, 本文将结构性知识搜索界定为“知识溯源型搜索”、“知识源共享型搜索”和“扩散源共享型搜索”三种搜索方式, 如图1所示.

1) 知识溯源型搜索

知识溯源型搜索是指个体在知识搜索过程中, 沿着知识流的逆向搜索, 同知识溢出的源头直接建立联系的行为. 从网络拓扑结构(图1a)来看, i 作为知识搜索主体, 基于“中间人” k 的“交互二路径”(multiple two-path)结构^[15], 展开定位指向 k 的知识源 m 的搜索行为.

2) 知识源共享型搜索

知识源共享型搜索是指个体在知识搜索过程中, 倾向于同其他具有相似知识需求属性的个体建立直接联系, 并通过共享的知识源进行搜索, 以补充或更新已有的知识储备. 从网络拓扑结构(图1b)来看, i 作为知识搜索主体, 基于“中间人” k 的“ k -入-星”(k -in-star)结构^[15], 展开定位指向于同其共享知识源 k 的近似知识属性个体 m 的搜索行为.

3) 扩散源共享型搜索

扩散源共享型搜索是指个体在知识搜索过程中, 倾向于同其他具有相似知识溢出属性的个体建立直接联系, 并通过共享的扩散源进行搜索, 以补充或更新已有的知识储备. 从网络拓扑结构来看(图 1c), i 作为知识搜索主体, 基于“中间人” k 的“ k -出-星”(k -out-star)结构^[15], 展开定位指向于同其共享扩散源 k 的近似知识属性个体 m 的搜索行为.

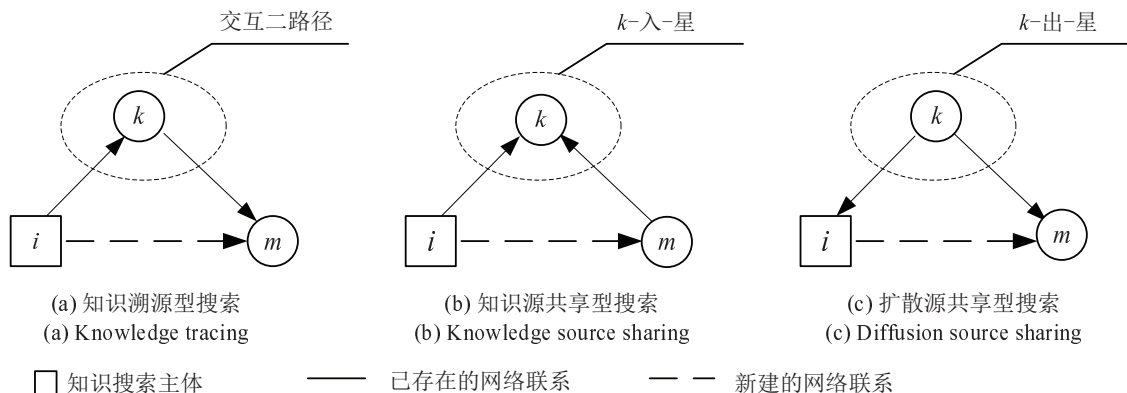


图 1 结构类型的知识搜索

Fig. 1 Knowledge search of structural type

2.2 声誉搜索规则 A_p

除了基于网络拓扑结构的间接型结构性搜索, 个体在知识搜索过程中, 还倾向于直接同满足自身知识诉求的扩散型知识源建立联系. 在结构性搜索中, “中间人”承担了知识搜索中的“信息桥梁”, 并降低了搜索中的不确定性. 而当个体突破网络拓扑结构, 进行直接的知识搜索时, 信息的真实性以及不确定性的降低则成为个体知识搜索的前提和重点. “声誉”作为个体资源、能力及合作前景等属性特征及其历史表现评估的综合外在表征, 是网络中的公开和共享信息, 成为个体知识搜索中重要的考量指标.

Fombrun^[21]指出, 良好的声誉是一张非常好的名片, 它能广泛的吸引追随者、投资者和消费者, 并赢得人们的尊重”. 而这种情况在创新个体的知识搜索过程中也同样存在, “高声誉”的个体也具有更高的吸引力. 文献[22]在研究创新网络进化时发现, 高声誉的核心企业更容易吸引其它企业与其建立联系, 形成持续的合作关系. 文献[23]对 121 家中国和俄罗斯企业的实证研究更进一步表明, 无论是长期合作还是短期合作, 企业在选择合作伙伴时都格外重视备选对象的声望水平. 文献[24]的实证研究表明, 具有较高“声誉”的核心企业在产业集群中对技术转移和知识扩散具有积极的作用, 大多数中小企业都通过与核心企业建立直接或间接联系来获得关键技术和知识资源, 进而提升整个集群的创新能力. 综上所述, 个体在进行知识搜索时, 倾向于同具有较高“声誉”的个体建立联系, 分享其知识溢出.

个体声誉等级的评定, 同互联网搜索引擎的网页评级具有极高的相似性. 在互联网搜索引擎的网页评级标准中, Google 的 PageRank 算法最具影响力, 已成为不同领域学者广泛借鉴的衡量网络节点重要性(声誉)的指标^[25,26], 其基本原理是依照被其它网站链入的次数来评定网页的“等级”^[27], 其计算公式为

$$R_p(X) = \frac{1-\eta}{P} + \eta \sum_{i=1}^n \frac{R_p(K_i)}{\text{OUT}(K_i)}, \quad (1)$$

其中 $R_p(X)$ 为网页 X 的网页排名值(PageRank), 该值越大, 网页的级别越高; P 代表网页的数量; η 是阻尼因子, 通常取 0.85; $K_i, i = 1, 2, \dots, n$ 为链入 X 的网页, $\text{OUT}(K_i)$ 为网页 K_i 的链出数.

Kawk 等^[28]将 PageRank 算法应用于衡量社会关系网络中个体所处的社会地位. 因此, 本文借鉴网页评级的 PageRank 算法, 用 R_p 值衡量网络节点的“声誉”, 即个体在声誉搜索中优先选择 R_p 值较高的知识源.

3 仿真模型设置

区域创新网络是由大量企业及其他创新组织联结形成的复杂适应系统^[29], 内部成员间存在广泛的复杂非线性关系^[30], 技术知识在网络内的自由流动是其典型特征, 其发展演化的基本驱动力是网络中创新主体的知识搜索行为. 基于此, 本研究将区域创新网络视为一个复杂自适应系统, 构建多主体仿真模型, 分析探讨个体知识搜索行为对区域创新网络演进的影响.

3.1 模型抽象与假设

区域创新网络是创新主体在特定地理空间内聚集所形成的网络现象, 其发展演化是由个体的变迁和网络的演化交互形成. 其中, 个体的变迁是指网络中的“进入-退出”现象以及个体网络地位的变化; 网络的演化则是指网络形态及拓扑结构的发展变化. 在本研究所构建的多主体仿真模型中, 区域创新网络中的“进入-退出”现象表现为网络节点的数量变化, 以网络节点的 R_p 值衡量个体的网络地位, 网络形态及拓扑结构的变迁主要基于对网络联系变化的考察. 特别地, 根据种群生态学的相关研究, 区域创新网络进入成熟期以后, 网络中的个体数量会维持在一个相对稳定的水平^[31,32], 因此, 模型中设定网络的增长上限. 根据上述对区域创新网络演化的概念抽象, 同时为重点考察个体知识搜索行为对区域创新网络演化的影响, 本文对所构建的仿真模型做出如下假设.

假设 1 区域创新网络处于相对稳态的环境之中, 个体的知识搜索行为是其发展演化的主要驱动因素;

假设 2 区域创新网络设定为由同质性创新主体构成, 主体间的主要区别在于由 R_p 值体现的网络地位的差异;

假设 3 区域创新网络中创新个体的数量随时间推移递增, 但存在一个增长极限规模.

3.2 仿真模型的初始状态与演化规则设置

1) 区域创新网络演化的初始结构设定

大量研究表明, 网络演化的长期结果与初始状态无关, 而是取决于网络主体的行为^[33,34]. 因此, 在本研究中, 区域创新网络的初始结构 I , 设定为由 v 个同质节点从完全孤立状态随机建立连接形成的一个不完全网络.

2) 区域创新网络演化的仿真规则设置

考虑到个体知识搜索的方向性, 以及仿真模型的基础性及可拓展性, 本研究将区域创新网络演化仿真模型设置为单一属性节点, 单位联系强度的有向网络(若节点间不存在捷径, 则其距离定义为 $+\infty$). 将区域创新网络内的成员数目上限设置为 V , 在 T_m 个演化阶段里($m = 1, 2, \dots$), 当网络节点数目达到上限时, 停止新增节点, 仅新增联系. 本文中仿真模型的演化规则设置如下:

- 1) 当网络节点总数小于 V 时, 每阶段新增 n 个节点, e 条边;
- 2) 新建联系的规则遵从结构性搜索的 triadic closure 规则(A_s)或声誉搜索的 PageRank 规则(A_p);
- 3) 当网络中节点总数达到 V 时, 停止新增节点, 每阶段只增加 e 条边;
- 4) 当演化阶段达到 T_w 时, 区域创新网络的演化结束.

本文的仿真参数设置为 $v = 10, n = 5, e = 15, V = 100, w = 40$.

3.3 网络结构演化的参数指标

由于个体的知识搜索行为存在方向性, 使得其驱动的区域创新网络表现为一个有向网络. 因此, 对其网络结构演化的考察需要关注其有向网络特征, 对其网络的几何形态、层次性和异质性等进行分析. 结合现有研究对有向网络的分析指标, 本研究选择入/出度分布、平均路长、分派指数和网络互惠性指标对区域创新网络演化的特征和规律进行考察.

- 1) 入/出度分布(in/out degree distribution)

度分布反映了网络演化的节点度特征和结构特征, 用度分布函数 $D(k)$ 表示. $D(k)$ 表示一个随机选定节点的度值恰好等于 k 的概率. 特别的, 在有向网络中, 度分布需要分别考察节点的入度和出度的分布情况.

2) 平均路长 L (average path length)

平均路长为网络中任意两个节点间距离的平均值, 其反映了网络中信息流通的效率. 平均路长越大, 个体间的交流成本就越高, 效率也就越低; 反之, 成本降低, 效率提高. 平均路长为

$$L = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j} d_{i,j}, \quad (2)$$

其中 $d_{i,j}$ 为节点 i 到 j 的距离, N 为网络节点总数.

3) 分派指数 E-I (external-internal index)

分派指数反映了网络中的派系分化程度, E-I 指数的取值范围为 $[-1, +1]$. 其值越接近 1, 表明网络内派系分化的程度越小; 其值越接近 -1, 意味着网络内派系分化的程度越大; 其值趋近 0, 表明网络内关系趋向于随机分布, 未表现出明显的派系特征. E-I 计算公式为

$$E-I = \frac{EL - IL}{EL + IL}, \quad (3)$$

其中 EL(external links)为子群体之间的关系数(the number of external friendship links), 也称为外部关系数. 所谓“外部关系”指的是, 不同子群成员之间的关系^[35]. IL(internal links)为子群体内部的关系数(the number of internal friendship links), 也称为内部关系数. 所谓“内部关系”指的是, 同一子群成员之间的关系^[35].

4) 网络互惠性(network reciprocity)

网络互惠性是衡量节点间地位平等性的指标. 互惠性强调组织间合作、联合及协调, 而不是命令、权力与控制^[36]. 在互惠的基础上, 组织间都愿意为共同的利益和目标提供知识^[37], 高互惠性意味着网络拥有较高的知识搜索效率. 互惠性 r 的取值范围为 $[0, 1]$, 其计算公式为

$$r = \frac{E^{\leftrightarrow}}{E}, \quad (4)$$

其中 $E^{\leftrightarrow}$ 为网络中双向联系的边数, E 为网络中全部边数.

4 仿真结果分析

本研究分别对两种知识搜索行为下的区域创新网络演进过程进行多主体仿真(multi-agent simulation), 记为 S_{A_i} , ($i = s, p$), 每种规则的搜索行为各自仿真 50 次. 图 2 分别展示了结构性搜索和声誉搜索两种行为下区域创新网络演化的仿真过程输出. 其中 T_m 代表演化阶段, 当 $T_m = T_{18}$ 时, 网络节点数目达到上限, 此后停止新增节点.

由图 2 的结果输出可知, 个体不同的知识搜索行为对区域创新网络演化具有显著影响. 本研究对收集到的两种行为规则下的仿真结果数据进行数据统计, 从节点的度分布特征和网络结构参数来分析探讨个体知识搜索行为对区域创新网络演化的规律和特征的影响.

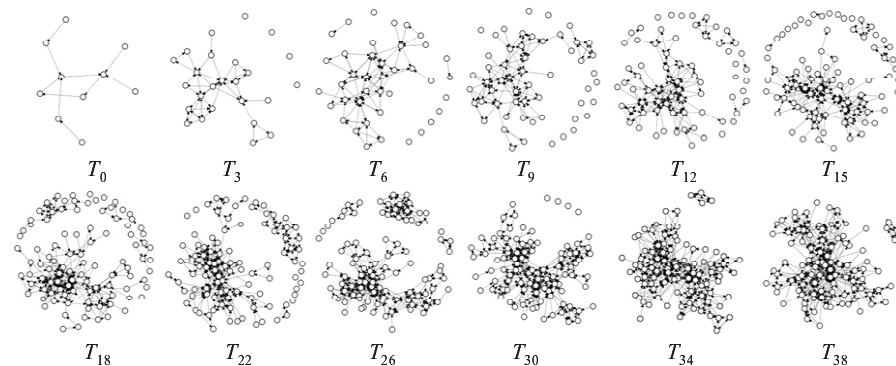
4.1 节点的度分布特征

两种知识搜索行为下的区域创新网络演化的度分布终值分布情况如表 1 所示. 不同知识搜索行为驱动的区域创新网络, 节点的出度分布的差异则相对较小, 而入度分布存在较大差异. 这表明两种知识搜索行为下, 区域创新网络演化中的个体搜索活动的活跃度相当, 差异主要体现在作为知识流出的个体数目上.

在按规则 A_s 实施的结构性知识搜索行为驱动的区域创新网络中, 绝大多数节点的入度非零, 意味着在结构性知识搜索行为的驱动下, 绝大多数个体都是同时作为知识搜索方和知识输出方, 创新网络中普遍存在着知识的自由流动现象. 入度处于 $[1, 10]$ 区间内的节点占网络节点总数的 76.07%, 表明结构性知识搜索行为驱动下的区域创新网络, 其个体的知识扩散程度处于一个相对较低的水平, 技术知识仅在直接或间接

相邻的个体间流动扩散. 而在按规则 A_p 实施的声誉搜索行为驱动的区域创新网络中, 绝大多数节点的入度为 0, 而入度非 0 的节点几乎全部分布在入度高于 11 的区间内. 表明声誉搜索行为驱动下的区域创新网络是一个知识扩散的非均衡网络, 绝大多数成员都没有发生知识扩散现象, 只有少数“高声望”的个体主导和控制着整个创新网络的知识扩散和溢出.

结构搜索



声誉搜索

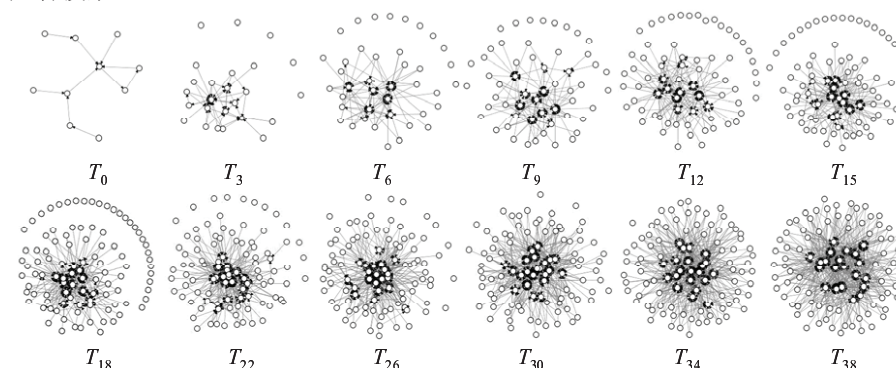


图 2 不同知识搜索行为下区域创新网络演化的仿真图

Fig. 2 Simulation results of innovation network evolution

表 1 不同知识搜索行为下区域创新网络度分布情况

Table 1 Degree distributions

		基于结构性搜索规则(A_s)的区域创新网络		基于声誉搜索规则(A_p)的区域创新网络	
		节点累计频数	百分比(%)	节点累计频数	百分比(%)
入	0	640	12.8	3 950	79.0
度	1—10	3 803	76.07	10	0.2
分	11—20	517	10.33	377	7.53
布	21—	40	0.8	663	13.27
出	0	36	0.72	67	1.34
度	1—10	4 897	97.94	4 890	97.8
分	11—20	67	1.34	43	0.86
布	21—	0	0	0	0

4.2 网络演化的结构特征

由图 2 可知, 随着区域创新网络的不断演化, 不同知识搜索行为下区域创新网络的空间结构表现出明显差异. 从区域创新网络演化的过程特征来看, 平均路长 L (图 3)、分派指数 $E-I$ (图 4)和互惠性 R (图 5)等结构性

指标也呈现出明显的差异性。

平均路长 L 反映了网络内的信息交流效率, L 值越大, 网络效率越低。如图3所示, 平均路长在经历了早期的急速增长之后进入一个平稳期, 当成员数目达到饱和时, 平均路长开始降低。仿真结果表明, 在区域创新网络形成与发展初期, 网络拓扑结构较为松散, 网络内知识搜索效率较低; 进入成熟期后, 网络拓扑结构逐渐完善, 搜索效率逐渐提高。而对于不同类型的搜索行为而言, 结构性搜索的平均路长要明显低于声誉搜索, 其程度随着网络演化的推进而不断加深。这表明, 从整个区域创新网络的视角来看, 结构性搜索的效率更高。

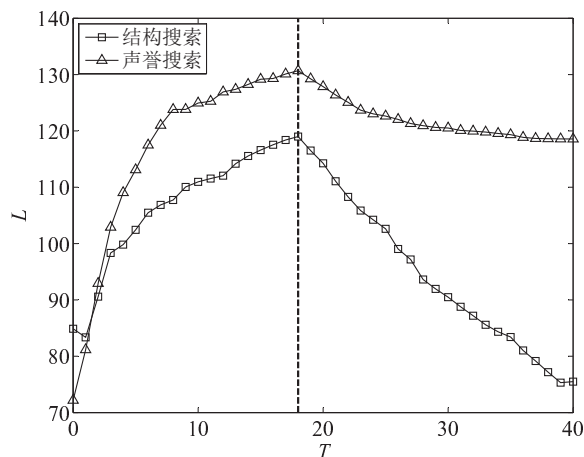


图3 结构类型的知识搜索

Fig. 3 Knowledge search of structural type

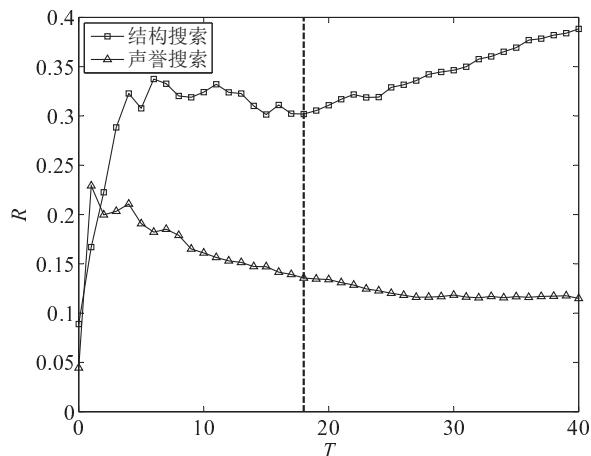


图4 互惠性变化趋势

Fig. 4 Change trend of reciprocity

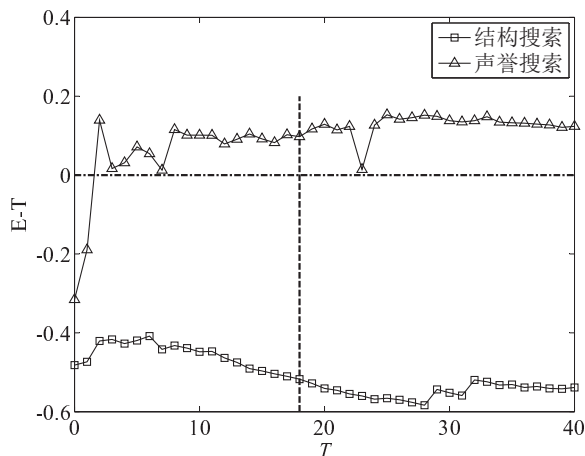


图5 分派指数变化趋势

Fig. 5 Change trend of network E-I index

从网络互惠性的变化(图4)来看, 结构性搜索下的网络互惠性远远大于声誉搜索, 造成该现象的主要原因在于声誉搜索下网络中的双向联系远远少于结构性搜索下的网络。网络互惠性一方面意味着网络中知识双向流动的自由度, 较高水平的网络互惠性意味着区域创新网络中的各方都积极参与到知识创造、转移和扩散中, 区域创新网络也表现出较高的创新效应。另一方面, 网络互惠性在一定程度上衡量了网络内联系双方的地位平等性, 对等的地位更有利于组织知识搜索活动的开展及实施效果。

从网络分派指数(图5)来看, 结合网络演化的拓扑形态(图2), 可以发现, 随着网络的演化发展, 结构性搜索下的区域创新网络表现出明显的子群结构, 而声誉搜索下的区域创新网络并未呈现出明显的派系现

象, E-I 值始终处于 0 值附近. 在声誉搜索下, 区域创新网络会发展成为一个少数“高声望”个体主导的多级的中心辐射型网络. 而结构性搜索下的区域创新网络, 由于个体间都是通过“朋友/熟人/邻居”的关系获取知识, 个体的活动范围限于一个特定的“圈子”内, 即网络内若干子群体. 而大量实证研究表明, “圈子”更加有利于知识的创造和传播, 特定的知识在“圈子”内更易于被接受和认可^[38,39].

5 结束语

区域创新网络作为个体知识搜索行为驱动的知识扩散、转移和创造的复杂自适应系统, 个体的知识搜索行为决定了其绩效表现及演化轨迹. 其中, 个体的知识搜索行为主要包括基于“中间人”的结构性搜索和基于“声誉”吸引的声誉搜索. 从绩效表现来看, 在结构性搜索行为下, 区域创新网络内绝大多数个体同时作为知识搜索方和知识输出方, 网络中普遍存在着知识的自由流动现象, 知识创造活动活跃; 而在声誉搜索行为下, 区域创新网络表现为一个单向知识扩散的非均衡网络, 少数“高声望”的个体主导和控制着整个创新网络的知识扩散和溢出, 绝大多数成员都没有发生知识扩散现象. 从演化特征来看, 结构性搜索的效率要高于声誉搜索, 区域创新网络的创新效应也较强. 但结构性搜索下的区域创新网络未表现出明显的派系特征; 而声誉搜索下的区域创新网络则会发展成为一个少数“高声望”个体主导的多级的中心辐射型网络.

参考文献:

- [1] 贾卫峰, 党兴华. 技术创新网络中核心企业形成的三状态模型研究[J]. 科学学研究, 2010, 28(11): 1750–1756.
Jia Weifeng, Dang Xinghua. Research on three-state model to the form of core enterprise in technological innovation networks based on the analysis of the inner-enterprise relationship coupling[J]. Studies in Science of Science, 2010, 28(11): 1750–1756. (in Chinese)
- [2] 田 钢, 张永安. 集群创新网络演化的动力模型及其仿真研究[J]. 科研管理, 2010, 31(1): 104–115.
Tian Gang, Zang Yongan. Dynamical model and simulation for the evolution of industrial cluster innovation network[J]. Science Research Management, 2010, 31(1): 104–115. (in Chinese)
- [3] Jones O, Steve C, Fred S. Social Interaction and Organizational Change: Aston Perspectives on Innovation Networks[M]. London: Imperial College Press, 2001.
- [4] Borgatti S P. Centrality and network flow[J]. Social Networks, 2005, 27(1): 55–71.
- [5] Pyka A, Gilbert N, Ahrweiler P. Agent-based modelling of innovation networks: The fairytale of spillover[C] // Innovation Networks: New Approaches in Modelling and Analyzing. Berlin: Springer-Verlag, 2009: 101–126.
- [6] 吴晓波, 彭新敏, 丁树全. 我国企业外部知识源搜索策略的影响因素[J]. 科学学研究, 2008, 26(2): 364–372.
Wu Xiaobo, Peng Xinmin, Ding Shuquan. Chinese firm's influential factors in search tactics for external knowledge sources[J]. Studies in Science of Science, 2008, 26(2): 364–372. (in Chinese)
- [7] Brenner T. Simulating the evolution of localized industrial clusters: Identification of the basic mechanisms[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2001, 4(3): 1–23.
- [8] Chiles T H, Meyer A D, Hench T J. Organizational emergence: The origin and transformation of Branson, Missouri's musical theaters[J]. Organization Science, 2004, 15(5): 499–519.
- [9] Albino V, Carbonara N, Giannoccaro I. Industrial districts as complex adaptive systems: Agent-based models of emergent phenomena[C] // Industrial Clusters and Inter-Firm Networks. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2005: 73–82.
- [10] March J. Exploration and exploitation in organizational learning[J]. Organization Science, 1991, 2(1): 71–87.
- [11] Rosenkopf L, Nerkar A. Beyond local search: Boundary-spanning, exploration, and impact in the optical disk industry[J]. Strategic Management Journal, 2001, 22(4): 287–306.
- [12] Phene A, Fladmoe-Lindquist K, Marsh L. Breakthrough innovations in the U.S. biotechnology industry: The effects of technological space and geographic origin[J]. Strategic Management Journal, 2006, 27(4): 369–388.
- [13] Katila R, Ahuja G. Something old, something new: A longitudinal study of search behavior and new product introduction[J]. Academy of Management Journal, 2002, 45(6): 1183–1194.

- [14] Laursen K, Salter A. Open for innovation: The role of openness in explaining innovation performance among UK manufacturing firms[J]. *Strategic Management Journal*, 2006, 27(2): 131–150.
- [15] Snijders T A B, Pattison P, Robins G L, et al. New specifications for exponential random graph models[J]. *Sociological Methodology*, 2006, 36(1): 99–153.
- [16] Burt R S. *Structural Holes: The Social Structure of Competition*[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- [17] Fritsch M, Kauffeld-Monz M. The impact of network structure on knowledge transfer: An application of social network analysis in the context of regional innovation networks[J]. *The Annals of Regional Science*, 2010, 44(1): 21–38.
- [18] 魏江, 叶波. 企业集群中的技术学习分工和知识流动[J]. *科学学与科学技术管理*, 2002, 23(9): 93–96.
Wei Jiang, Ye Bo. Technology learning division and knowledge flows in firm cluster[J]. *Science of Science and Management of Science and Technology*, 2002, 23(9): 93–96. (in Chinese)
- [19] Holme P, Kim B J. Growing scale-free networks with tunable clustering[J]. *Physical Review E*, 2002, 65(2): 1071–1074.
- [20] Robins G, Pattison P, Wang P. Closure, connectivity and degree distributions: Exponential random graph (p^*) models for directed social networks[J]. *Social Networks*, 2009, 31(2): 105–117.
- [21] Fombrun C, Foss C. Business ethics: Corporate responses to scandal[J]. *Corporate Reputation Review*, 2004, 7(3): 284–288.
- [22] Bianconi G, Barabási A L. Competition and multi scaling in evolving networks[J]. *Europhysics Letters*, 2001, 54(4): 436–422.
- [23] Hitt M A, Ahlstrom D, Dacin M T, et al. The institutional effects on strategic alliance partner selection in transition economies: China vs. Russia[J]. *Organization Science*, 2004, 15(2): 173–185.
- [24] Agrawal A, Cockburn I M. *University Research, Industrial R&D, and the Anchor Tenant Hypothesis*[R] // Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper 9212, 2002.
- [25] Bollen J, Rodriguez M A, Van de Sompel H. Journal status[J]. *Scientometrics*, 2006, 69(3): 669–687.
- [26] Gupte M, Shankar P, Li J, et al. Finding hierarchy in directed online social networks[C] // *Proceedings of the 20th International Conference on World Wide Web*. New York: Association for Computing Machinery, 2011: 557–566.
- [27] Page L, Brin S, Motwani R, et al. The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web[R] // Palo Alto: Stanford Digital Library Technologies Project, 1998.
- [28] Kwak H, Lee C, Park H, et al. What is twitter, a social network or a news media[C] // *International World Wide Web Conference Committee*. New York: Association for Computing Machinery, 2010: 591–600.
- [29] Harrison B. The Italian industrial crisis and the crisis of the cooperative form[J]. *European Planning Studies*, 1994, 2(1): 3–22.
- [30] Frederick W C. Creatures, corporations, communities, chaos, complexity: A naturological view of the corporate social role[J]. *Business and Society* 1998, 37(4): 358–389.
- [31] Bain J S. *Industrial Organization*[M]. 2nd Edition. New York: John Wiley and Sons Inc., 1968.
- [32] Pouder R, St John C. Hot spots and blind spots: Geographical clusters of firms and innovation[J]. *Academy of Management Review*, 1996, 21(4): 1192–1225.
- [33] 吕一博, 程露, 苏敬勤. “资源导向”下中小企业集群网络化演进的仿真研究[J]. *科研管理*, 2013, 34(1): 131–139.
Lü Yibo, Cheng Lu, Su Jingqin. The evolution of SMEs cluster network: A computer simulation based on multi-agent modeling[J]. *Science Research Management*, 2013, 34(1): 131–139. (in Chinese)
- [34] 吕一博, 程露, 苏敬勤. “资源导向”下企业集群网络演进的多主体仿真研究[J]. *系统工程学报*, 2013, 28(1): 1–11.
Lü Yibo, Cheng Lu, Su Jingqin. Cluster evolution: A multi-agent modeling simulation from resource-orientation perspective [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2013, 28(1): 1–11. (in Chinese)
- [35] Krackhardt D, Stern R N. Informal networks and organizational crises: An experimental simulation[J]. *Social Psychology Quarterly*, 1988, 51(2): 123–140.
- [36] Oliver C. Determinants of interorganizational relationships: Integration and future directions[J]. *The Academy of Management Review*, 1990, 15(2): 241–265.
- [37] 李志刚, 汤书昆, 梁晓艳, 等. 产业集群网络结构与企业创新绩效关系研究[J]. *科学学研究*, 2007, 25(4): 777–782.
Li Zhigang, Tang Shukun, Liang Xiaoyan, et al. An empirical study on the relationship between industry cluster's network structure and enterprises' innovation performance[J]. *Studies in Science of Science*, 2007, 25(4): 777–782. (in Chinese)
- [38] Beeby M, Booth C. Networks and inter-organizational learning: A critical review[J]. *The Learning Organization*, 2000, 7(2): 75–88.