

Research on the Driving Mechanism of Knowledge Transfer on the Topology Evolution of Industrial Bipartite Networks

Shouwei Li, Zongjun You, Zuogong Wang

Guiyang Institute for Big Data and Finance, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang Guizhou
Email: shouweili1996@163.com

Received: Nov. 20th, 2018; accepted: Dec. 4th, 2018; published: Dec. 11th, 2018

Abstract

More and more knowledge-intensive services are embedded in industry with the increasing complexity of technological innovation. The set of service institutes and enterprises form the bipartite network around the activities of technological innovation. Based on the knowledge distance between service institute and enterprise, the co-evolution model of knowledge diffusion and industrial bipartite network is constructed, and then some computing experiments have made to analyze the evolutionary process of the model. Some conclusions are obtained from the analysis. The adequate knowledge distance can improve the knowledge diffusion between service institutes and enterprises. Average knowledge stock in network increases with the increasing diffusion threshold. However, too high or too low link stickiness has disadvantage to the increasing of knowledge stock. The increasing rate of knowledge is very fast in the beginning, and then slows down to stable status in the end. The industrial network forms a small world automatically during evolution. The conclusions are very important for increasing knowledge diffusion and promoting innovation capability.

Keywords

Knowledge Transfer, Network Topology, Co-Evolution, Computational Experiments

产业二分网络拓扑结构演化的知识转移驱动机制研究

李守伟, 游宗君, 王作功

贵州财经大学贵阳大数据金融学院, 贵州 贵阳
Email: shouweili1996@163.com

收稿日期: 2018年11月20日; 录用日期: 2018年12月4日; 发布日期: 2018年12月11日

摘要

随着技术创新复杂度的提高,越来越多的知识密集型服务嵌入到产业中。产业中的知识密集型服务机构群与创新企业群之间围绕技术创新活动形成了二分网络。基于服务机构与创新企业之间的知识距离,本文提出了产业二分网络上知识转移与网络结构的协同演化模型,并进行了计算实验分析。研究发现,适当的知识距离可以促进知识在服务机构和创新企业之间加速转移;网络知识存量随着知识扩散阈值的增大而增大,但链接粘性太高或太低都不利于网络知识存量的增加;网络知识增长速度在初始阶段快速增长,而后缓慢下降到稳定状态。产业二分网络的投影网络在演化过程中逐渐自组织形成小世界网络。研究结论对于加快知识扩散、提升技术创新能力有着重要的意义。

关键词

知识转移, 网络结构, 协同演化, 计算实验

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

知识经济的发展促进了技术创新,也促进了知识分布的网络化和社会化。从一定程度上来说,知识的作用就是促进技术创新。技术创新的本质也就在于新知识的创造、应用与扩散。用于技术创新的各种知识则分布于各种社会化服务机构中,如大学、科研机构与企业。因此,企业的技术创新活动离不开各种社会化服务机构的知识密集型服务(KIBS) [1]。然而,技术创新与 KIBS 的互动是一个复杂的非线性的知识扩散过程[2]。

国内外众多学者纷纷展开了对知识扩散的研究,包括影响知识转移的组织因素[3]、知识转移对组织绩效的影响[4]、集群创新网络知识的动态增长[5]、以及促进组织间知识转移的方法和工具。最近,随着网络科学的快速增长,知识的网络化传播研究已经引起了大量的研究关注[6]。

知识的网络化传播研究主要集中在两个方面:一是知识如何在网络中转移;二是在知识转移过程中网络本身是如何演变的。前者侧重分析网络特征对知识转移的影响,如网络关系强度对知识转移的作用[7]、凝聚力和范围对知识转移的影响[8]、网络知识转移的复杂性[9]、以及网络拓扑结构是对知识传播的影响[10]。后者侧重讨论了知识转移行为对网络结构的影响机制。这些研究主要基于科学协作网络[11]和创新网络[12]展开的。随着复杂网络理论的发展,网络演化和知识转移的协同逐渐成为研究的热点。Wang 和 Groth 提出一个衡量传播内容和社交网络之间动态双向影响的研究框架[13]。Roth 和 Cointet 实证检验了社会关系网络和社会语义网络的协同进化[14]。Iñiguez 等人在自适应网络上研究了科学概念的扩散,研究发现科学合理的概念比未经科学验证的概念更难普及,因为反对的人倾向形成紧密的社区,来阻止意见达成共识[15]。

产业网络在本质上是动态的,技术创新也是动态的;因此,网络演变动力学与网络中的知识转移动力学相互交织。受到 Luo 等人[16]对社会网络上知识传播与网络结构协同演化的启发,本文以产业二分网络为研究背景,构建协同演化模型,来研究产业二分网络中“知识距离”驱动知识转移与网络结构的协同演化。

2. 产业二分网络模型

在产业二分网络中，技术创新水平影响着知识转移的局部动力学，进而决定着服务关系的嵌入。服务关系的嵌入又影响着网络结构的演化行为，形成新的网络拓扑结构；网络拓扑结构的变化又优化了知识转移路径，进一步提升了技术创新水平。图 1 描绘了技术创新水平、服务关系和网络结构之间的反馈环路。这种反馈环路在网络结构和节点动力学之间产生复杂的相互作用。

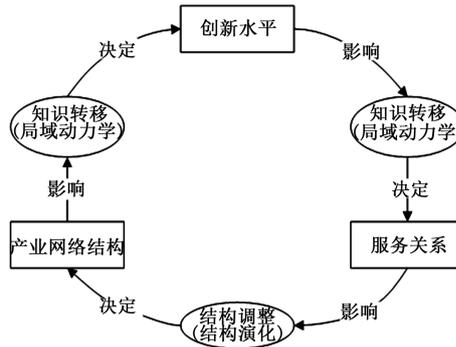


Figure 1. The diagram of influence of KIBS, technological innovation and industrial Bipartite network
图 1. 知识密集型服务、技术创新与产业二分网络影响关系图

知识密集型服务与技术创新相互作用、相互影响，知识在企业和服务机构之间发生不断的迁移。同时企业之间、服务机构之间以及企业与服务之间的关系也不断地发生断开、重连，从而引起了网络拓扑结构的变化。

在技术创新过程中，创新企业与服务机构之间发生服务联系，表现为多对多的关系，即一个创新企业可能接受多个服务机构的服务，或者一个服务机构服务于多个创新企业。由于企业是创新的主体，即使其他企业参与了该企业的技术创新，往往也是以服务者的身份出现的，因此不妨设这些服务关系构成了产业二分网络，如图 2 所示。图中左侧为二分网络的邻接矩阵，黑色块表示企业与服务机构之间存在关系；图中右侧为二分网络图，显示了企业与服务机构之间的服务关系。

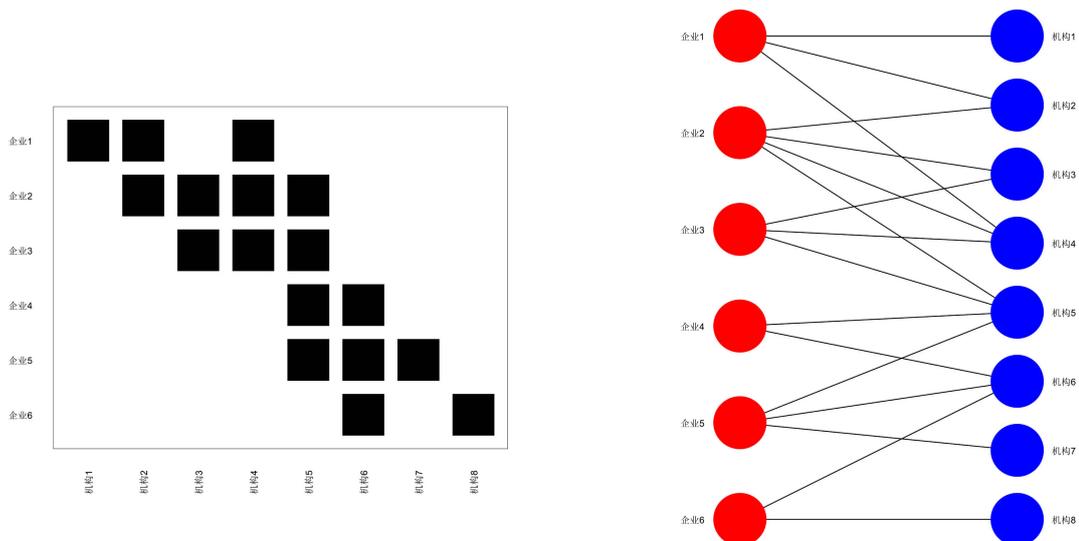


Figure 2. The diagram of industrial bipartite network based on technological innovation
图 2. 基于技术创新的产业二分网络示意图

分别将二分网络向企业侧和服务机构侧投影，可以得到两个投影网络，如图3所示。

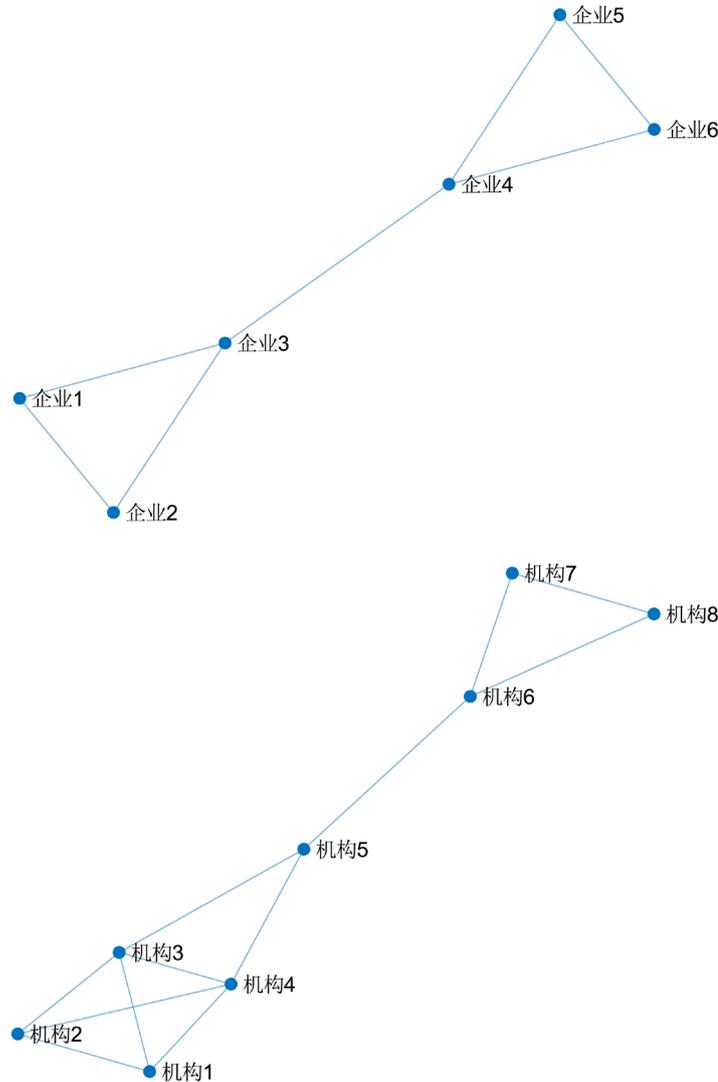


Figure 3. The projection network of industrial bipartite network (up: enterprise, down: service organization)
图3. 产业二分网络的投影网络图(上图为企业侧投影网络，下图为服务机构侧投影网络)

根据图2和图3以及下文表述的需要，本文从数学意义上给出产业二分网络的描述。假设产业二分网络中共有 N_1 个创新企业结点、 N_2 个服务机构结点、以及 M 条边， $N = N_1 + N_2$ 。一般来说，服务关系是双向的，因此假设边是无向的，且不允许重复。分别使用 $I_1 = \{1, \dots, N_1\}$ ， $I_2 = \{1, \dots, N_2\}$ 表示产业中企业和服务机构的集合， $I = I_1 \cup I_2$ 是预先定义的企业和服务机构集合。对于企业和服务机构而言，各自都围绕技术创新拥有一些独特的“知识”。因此，对于网络结点 $i \in I$ 来说，用向量 $v_i = (v_{i1}, \dots, v_{ik}, \dots, v_{il})$ 表示其拥有的知识量，其中 v_{ik} 表示结点 i 在类别 k 上的知识水平， l 为知识类别总数。用 $G = (I, E)$ 表示这个产业二分网络， E 是边(服务关系)的集合。对于任何 $i \in I_1$ 且 $j \in I_2$ ，或者 $i \in I_2$ 且 $j \in I_1$ ，如果 i 和 j 之间存在服务关系(即边)，则 $\delta_{ij} = 1$ ，否则 $\delta_{ij} = 0$ 。结点 i 的邻接点被定义为 $\Gamma_i = \{j \in I_2 : \delta_{ij} = 1 \text{ and } i \in I_1\}$ 或者 $\Gamma_i = \{j \in I_1 : \delta_{ij} = 1 \text{ and } i \in I_2\}$ 。 Γ_i 是结点 j 侧投影网络上的一个全连通的群组(Clique)，由所有与结点 i 相连接的结点组成。注意，这里 Γ_i 并没有排除单点的情形。

3. 基于知识距离的知识转移规则

在社会学习和协作的环境中,较大知识差距有时可能会产生沟通上的困难。例如,专家和新手之间的合作往往是无效的。Mowery 等人[17]通过研究组织间的协作和知识转移发现,联盟中的两个组织之间存在一个最优的知识距离。

知识转移与扩散通常发生在具有不同知识水平、知识结构的组织之间,如,基础理论创新从科研院所向应用企业转移等。本文采用“知识距离(Knowledge Distance)”来表示组织知识之间的差异性与异质性特征。知识距离将影响组织间知识转移的绩效,以及组织关系的稳定性。

按照技术创新的需要,知识转移应该能够提高双方的知识水平,从而使得他们在知识转移的过程中获得收益。事实上,当双方的知识水平有一定的差距,知识转移才会发生。当然,这个差距不能太大,否则转移的知识不能被很好的学习和吸收;前面分析发现,发生知识转移的两个主体之间的“知识距离”既不是太大也不能太小,因此基于相邻结点之间恰当的“知识距离”,知识扩散才会不断发生。当知识距离大于给定的阈值时,由于缺乏常识的学习阻碍,双方没有从知识转移中获得收益。因此,假设 d 为“知识距离”的阈值,也是“知识交换门槛”。注意,除非特别说明,下文中的顶点表示创新企业结点或者服务机构结点。

在顶点 i 和顶点 j 之间的知识转移过程中,按照如下的步骤计算顶点 i 获得的知识水平:

$$v_{ik}(t+1) = v_{ik}(t) + \begin{cases} \min\{\max(v_{jk} - v_{ik}, 0), ks\} & d_{ij} < d \\ 0 & d_{ij} > d \end{cases}, k = 1, 2, \dots, l \quad (1)$$

其中, $d_{ij} = \sum_k \max(v_{jk} - v_{ik}, 0)$, $k = 1, 2, \dots, l$ 表示知识类别。

从等式(1)可以看出,① 只有当顶点 j 的知识水平高于顶点 i 时,才能发生从顶点 j 到顶点 i 的知识转移;② 当 d_{ij} 为小于阈值 d 时,顶点 i 从顶点 j 获得一个有限的知识量,这个上限值由 ks 给出。当某类知识的知识距离小于 ks 时,距离越大,顶点 i 从知识转移中获得的收益也就越大。否则,当 d_{ij} 超过 d ,顶点 i 就没有从知识转移中获得收益。③ 顶点 i 的各个类别的知识水平是逐个更新的,而且也是不断提高的。

4. 产业二分网络拓扑结构动态演化机制

知识转移和网络关系的调整同决定了产业二分网络拓扑结构的演化,同时影响了知识的局部转移。产业二分网络模型的演化按照如下的步骤进行:

Step 1: 设置初始产业二分网络包括 N_1 个企业顶点、 N_2 个服务机构顶点和 M 条边; M 条边随机分布在两类结点之间。将每个结点的知识向量初始化为随机数。

根据实际情况和研究的方便性,不妨设每个结点至少有一个链接。

Step 2: 从产业二分网络中任意选择一个顶点,记为 i , $i \in I_1$ (或 $i \in I_2$);

Step 3: 顶点 i 要么以概率 p 与邻接点 $j \in I_2$ (或 $j \in I_1$)按照等式(1)进行知识转移,要么以概率 $1-p$ 调整其网络连接,使得顶点 i 将断开的链接重新链接到新的顶点。

Step 3.1 (链接断开): 在选择与结点 i 断开链接的目标结点时,如果 Γ_i 中存在至少一个邻接点 j , 其与顶点 i 的知识距离 d_{ij} 比阈值 d 大,则选择具有最大知识距离的邻接点;否则,选择具有与结点 i 最小知识距离的邻接点 j 。前者表明,当多个知识距离 d_{ij} 大于阈值 d 时,说明两个结点之间的知识差距太大,无法完成知识转移,故移除服务关系;后者说明,当没有一个知识距离 d_{ij} 大于阈值 d 时,说明结点之间可以进行知识转移,考虑到知识转移增益时,优先移除增益最少的一个链接,即具有最小知识距离的邻

接点。

Step 3.2 (链接重连): 对于上一步中断开的链接, 若 i 是企业结点, 则以概率 α 重新链接至 Γ_i 中随机选择的服务机构结点 j , 或以概率 $1-\alpha$ 链接到除 Γ_i 外随机选择的服务机构结点 j 。类似地, 若 i 是服务机构结点, 则以概率 β 重新链接至 Γ_i 中随机选择的创新企业结点 j , 或以概率 $1-\beta$ 链接到除 Γ_i 外随机选择的创新企业结点 j 。

Step 4: 更新每个顶点的知识向量和整个网络结构;

Step 5: 重复步骤(2)、(3)、(4), 直到迭代计数达到预先设定的上限值 T_{\max} 。

在演化模型中, 概率参数 p 反映了现有网络关系的粘性或者嵌入性。 p 值越大, 网络链接粘性越大, 越不容易断开, 发生知识转移的可能性也就越大。

在上述模型可以看出, 顶点断开链接的决策在很大程度上取决于相邻顶点之间的知识距离。因此, 知识转移活动可能影响网络结构。反过来, 产业二分网络的拓扑结构决定哪些顶点之间可以进行交流知识, 它对知识的扩散性能有很大的影响。

在演化过程中, 创新企业或者服务机构往往倾向于删除现有的、无效的知识交流链接, 并且与其他顶点建立新的联系, 以寻求更好的交流机会。顶点 i 的网络关系调整遵循以下两个步骤: 断开与重连。

步骤 3.1 和 3.2 模仿了产业二分网络中服务关系的变迁。概率 α 和 β 分别刻画了企业结点和服务机构结点在 Γ_i 中选择目标的倾向性。较大的参数 α 和 β 值表示本地群组(Clique)有较大的凝聚力, 使个体更可能地留在本地群组, 而不建立远程连接。相反, 较小的参数 α 和 β 值表示本地群组(Clique)具有较小的内聚力, 并且个体倾向于将服务关系“迁移”到远程位置的结点上。因此, 参数 α 和 β 可以测试“社会凝聚力”或结构镶嵌对知识转移和网络结构的影响。

5. 计算实验分析

基于前面给出的协同演化模型, 用计算实验的方法来分析网络结构和知识转移的协同演化。产业二分网络中有 $N_1 = 500$ 个企业结点和 $N_2 = 200$ 个服务机构结点。网络中的每个顶点有 5 个知识类别(即 $l = 5$), 对于每个知识类别, 初始化为 $v_{ik} \sim U[0,10]$ 的均匀分布。设置每次迭代的知识量上限为 $ks = 0.4$, 以及最大迭代次数为 $T_{\max} = 60000$ 。由产业二分网络分别向两类结点集合上投影, 可以得到创新企业网络和服务机构网络。由于两个投影网络的分析过程类似, 下面仅仅对产业二分网络投影后的企业网络给出实验结果和分析。

5.1. 平均知识存量的变化

网络中的平均知识存量 $V(t)$ 是网络中所有顶点在时刻 t 的知识平均存量, 即:

$$V(t) = \frac{1}{N_1} \frac{1}{l} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^l v_{ik}(t) \quad (2)$$

从上式可以看出, $V(t)$ 可以是直到第 t 个时间步时的知识转移效率, 那么, $V(T_{\max})$ 表示仿真模拟中最终达到的网络平均知识存量, 可以看作是整个过程中知识转移的效率。

图 4 给出了网络中所有顶点的平均知识存量 V 和参数 p 和 d 之间的关系。可以看出, 知识交换阈值 d 对平均知识存量 V 有着重要的影响: 对于固定的链接粘性 p , 知识交换阈值 d 的增大, 将会导致 V 的增大。然而, 链接粘性 p 对 V 的影响非常复杂。对于固定的知识交换阈值 d , 当链接粘性 p 在一个较小的水平时, 链接粘性 p 的增大会导致平均知识存量 V 的增大。然而, 当链接粘性 p 达到一个相当大的水平时, 链接粘性 p 的增加将不会对平均知识存量 V 有着显著的影响。这种现象说明, 如果链路粘性非常高或非常低, 那么知识转移是无效的。

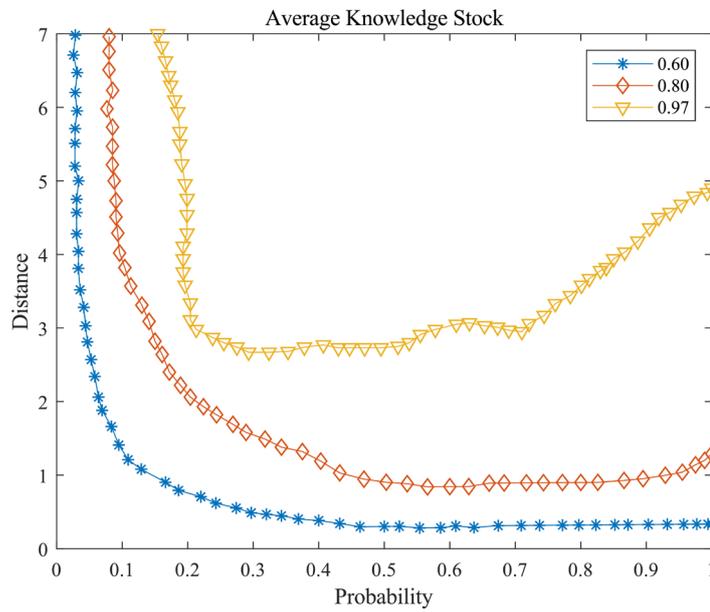


Figure 4. The relationship among average knowledge stock and link stickiness, knowledge exchange threshold in projection network
图 4. 网络平均知识存量与链接粘性、知识交换阈值的关系

5.2. 知识增长速度的变化

基于网络的平均知识存量，在时刻 t 网络的知识增长速度为：

$$\rho(t) = \frac{V(t)}{V(t-\Delta t)} - 1 \tag{3}$$

网络中的链接粘性 p 对知识扩散的影响可以通过平均知识增长速度来衡量。图 5 给出了网络知识增长速度 $\rho(t)$ 随时间 t 的变化曲线。

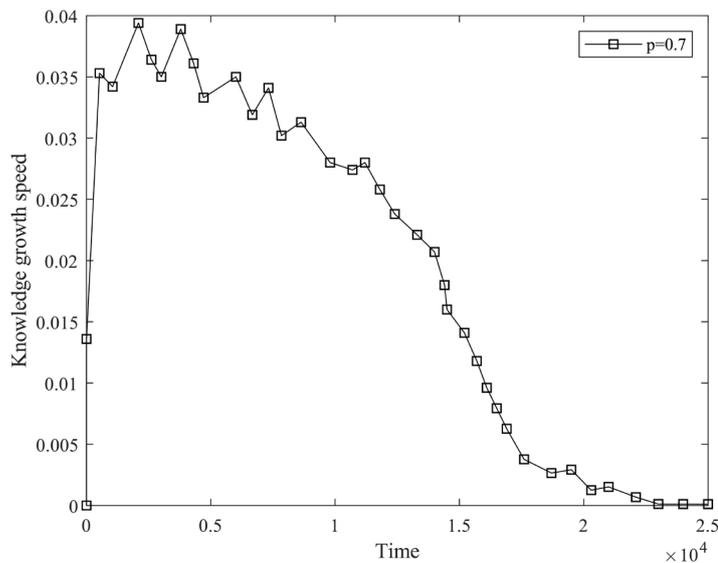


Figure 5. The rate curve of network knowledge growth
图 5. 网络知识增长速度变化曲线

从图 5 可以看出,在早期阶段,由于各个顶点之间的知识不平衡,顶点之间的知识不断重复交换,使得知识增长的速度急剧升高;随着时间的推移,知识增长速度达到峰值。随后,由于顶点之间的知识交换不频繁,使得网络知识增长率缓慢降低。在足够长的时间后,网络顶点的知识增长速度不断降低,并趋于 0,最终使得平均知识库存 V 处于稳定状态。

5.3. 网络结构变化

假设用最大簇系数 G 表示企业网络中最大簇中顶点数占全部顶点数的比例。演化结果如图 6 所示。在图 6 中,用等高线展示了最大簇系数 G 作为链接粘性 p 和知识交换阈值 d 的函数。可以看出,对于固定的知识交换阈值 d ,链路粘性 p 的增加将导致较大簇系数 G ,这是因为当链接粘性 p 的值较大时,边的断开与重连的倾向性较小。当知识交换阈值 d 增大时,最大簇系数 G 增大。也就是说,知识交换的阈值越小,则整个网络被分割成若干分离的小簇。与此相反,当知识交换阈值 d 较大时,网络中的大多数顶点相互连接,形成一个较大的群组(Clique);当阈值等于 4 时,整个网络是全连通的(即 $G = 1$)。因此,网络结构的演变过程可以分为两个阶段,即“大簇”阶段和“碎裂”阶段。

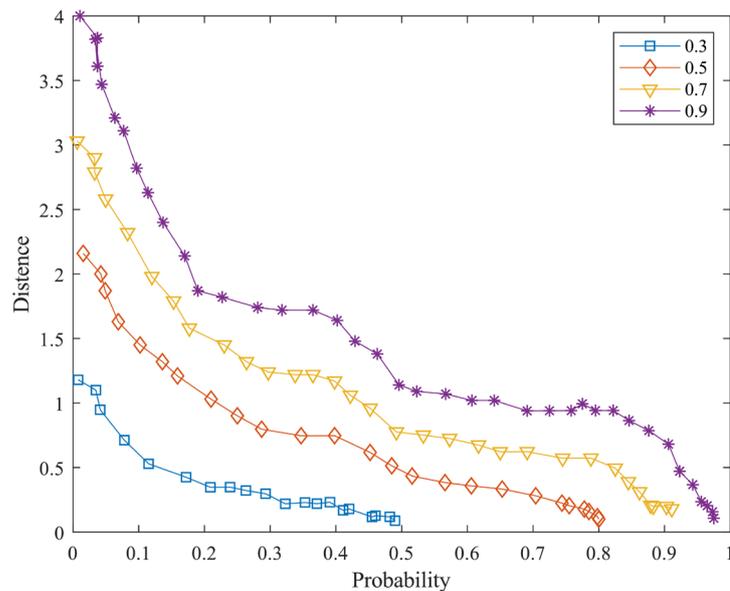


Figure 6. The relationship among maximum cluster coefficient, link stickiness, and knowledge exchange threshold
图 6. 最大簇系数与链接粘性、知识交换阈值的关系

通过分析图 6 可以发现,知识交换阈值 d 对网络结构有如下的影响:当 d 较高时,具有较低知识距离的顶点对更可能是断开的;反之,当 d 较小时,具有较高知识距离的顶点对更可能被断开。因此,在较高阈值 d 的情况下,强连通的本地群组(Clique)倾向于瓦解。同时,一个顶点与另一个具有大的知识距离的“远程”顶点之间的链接有更多的机会来维持。整个群体趋向于形成“大簇”的阶段。同样地,在低阈值 d 的情况下,由于边的去除一般发生在具有很高的知识距离顶点对之间的链接上,所以强连通的本地群组更容易生存,并且整个网络更容易被分割成多个小簇。换句话说,企业网络可能落入“碎裂”阶段,每个分离的簇是由同样知识水平的顶点所构成。

通过网络的最大簇系数分析,可以发现,在演化过程中,企业网络不断碎裂与重组,呈现出连续的“小世界”拓扑结构的构建与破坏现象。图 7 和图 8 分别给出了集聚系数(Cluster Coefficient)变化曲线和平均最短路径变化曲线(其中,参数 $p = 0.2$ 、 $d = 4$)。

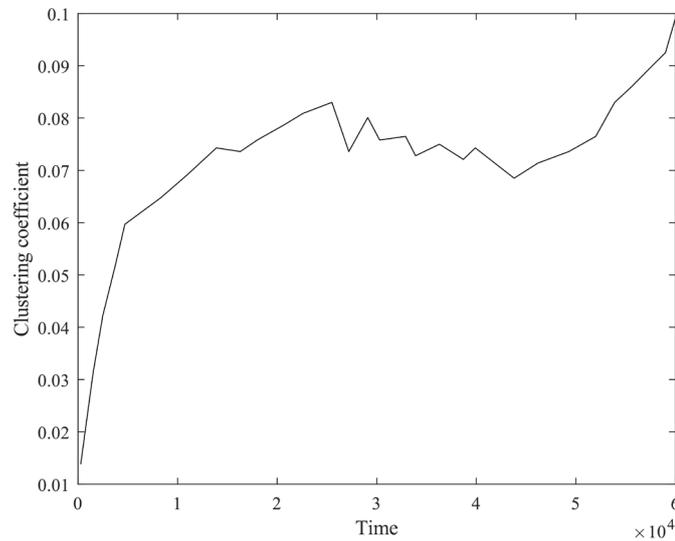


Figure 7. The curve of clustering coefficient C during the evolution of enterprise network
图 7. 企业网络演化中集聚系数 C 的变化曲线

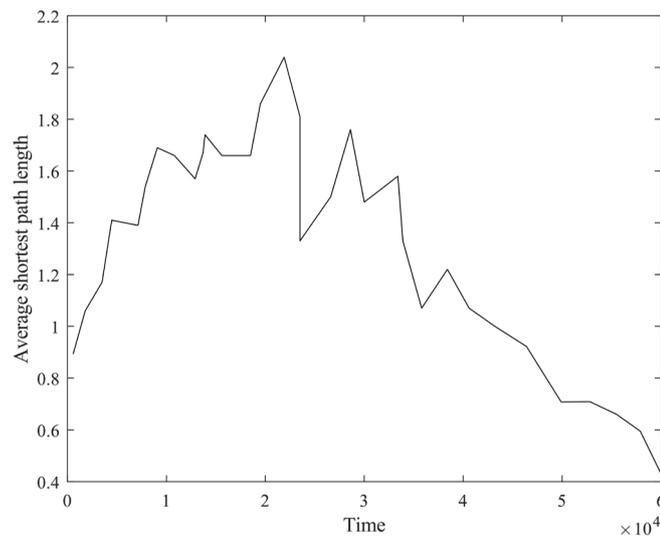


Figure 8. The curve of average shortest length during the evolution of enterprise networks
图 8. 企业网络演化中平均最短路径长度变化曲线

从图 7 和图 8 可以看出, 在演化初期, 集聚系数 C 和平均路径长度 l 不断增加, 小世界特征不显著; 在平均最短路径长度到达峰值后, 逐渐下降, 同时集聚系数也在不断增加, 网络的小世界特征越来越显著; 在 $t=60,000$ 时, 集聚系数 $C=0.1$ 、平均最短路径长度为 $l=0.4$, 与同规模的随机网络相比, 创新企业网络具有较大的集聚系数和较小的最短路径, 因此网络逐渐自组织、并演变成一个“小世界”网络。

6. 结论

本文基于知识距离提出了知识扩散和网络结构协同演化的动态模型, 通过计算实验得到了如下的结论: ① 产业二分网络中的知识转移能够影响到网络结构的变化。反之, 网络结构也影响知识转移的速度和效率。② 适当的“知识距离”, 不但可以加快知识转移, 而且能够提高网络知识存量。③ 网络知识存量随着知识扩散阈值的增大而增大, 但链接粘性太高或太低都不利于网络知识存量的增加; ④ 网络知

识增长速度在初始阶段快速增长,而后缓慢下降到稳定状态;⑤ 产业二分网络的投影网络在演化过程中逐渐自组织形成小世界网络。

当然,本文的研究还存在如下的局限性。首先,协同演化模型中所涉及的产业二分网络是大小不变的,事实上,真实的产业二分网络的大小是在不断变化中的;其次,模型没有考虑新知识的创造。在现实世界中的知识转移总是与知识创造有关。第三,本文仅仅使用了计算实验的方法,还需要更为详细的实证检验。未来进一步的研究将在以上几个方面展开。

基金项目

国家自然科学基金项目“分层耦合区域创新网络拓扑演化与知识转移研究”(71663010);国家社会科学基金青年项目“战略性新兴产业集群生态创新机理及其生态创新政策研究”(14CJY002)。

项目来源:2017年度贵州财经大学引进人才科研项目“基于网络治理、知识转移与组织学习协同的分享技术创新研究”。

参考文献

- [1] 魏江, 马克·鲍登. 知识密集型服务业与创新[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 李守伟, 陈永泰, 司春林, 彭本红. 基于 KIBS 的企业技术创新能力形成与演化[J]. 系统管理学报, 2011, 20(4): 421-427.
- [3] Szulanski, G. (2000) The Process of Knowledge Transfer: A Diachronic Analysis of Stickiness. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, **82**, 9-27. <https://doi.org/10.1006/obhd.2000.2884>
- [4] Argote, L. and Ingram, P. (2000) Knowledge Transfer: A Basis for Competitive Advantage in Firms. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, **82**, 150-169. <https://doi.org/10.1006/obhd.2000.2893>
- [5] 周文, 陈伟, 朗益夫. 集群创新网络知识动态增长研究: 基于过程视角[J]. 系统工程学报, 2015, 30(4): 431-441.
- [6] Phelps, C., Heidl, R. and Wadhwa, A. (2012) Knowledge, Networks, and Knowledge Networks: A Review and Research Agenda. *Journal of Management*, **38**, 1115-1166. <https://doi.org/10.1177/0149206311432640>
- [7] Hansen, M. (1999) The Search-Transfer Problem: The Role of Weak Ties in Sharing Knowledge across Organization Subunits. *Administrative Science Quarterly*, **44**, 82-111. <https://doi.org/10.2307/2667032>
- [8] Reagans, R. and McEvily, B. (2003) Network Structure and Knowledge Transfer: The Effects of Cohesion and Range. *Administrative Science Quarterly*, **48**, 240-267. <https://doi.org/10.2307/3556658>
- [9] 魏静, 等. 在线知识转移网络的复杂性扩散研究[J]. 管理评论, 2015, 27(7): 58-65.
- [10] Yang, G., Hu, Z. and Liu, J. (2015) Knowledge Diffusion in the Collaboration Hyper Network. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **419**, 429-436. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.10.012>
- [11] Tang, X., Yang, C.C. and Song, M. (2013) Understanding the Evolution of Multiple Scientific Research Domains Using a Content and Network Approach. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **64**, 1065-1075. <https://doi.org/10.1002/asi.22813>
- [12] Ter Wal, A.L. (2014) The Dynamics of the Inventor Network in German Biotechnology: Geographic Proximity versus Triadic Closure. *Journal of Economic Geography*, **14**, 589-620. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbs063>
- [13] Wang, S. and Groth, P. (2010) Measuring the Dynamic Bi-Directional Influence between Content and Social Networks. *Proceedings of the Ninth International Semantic Web Conference*, Shanghai. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17746-0_51
- [14] Roth, C. and Contet, J. (2010) Social and Semantic Coevolution in Knowledge Networks. *Social Networks*, **32**, 16-29. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2009.04.005>
- [15] Iiguez, G., Tague Martlnez, J., Kaski, K. and Barrio, R. (2012) Are Opinions Based on Science: Modelling Social Response to Scientific Facts. *PLoS ONE*, **7**, 42122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042122>
- [16] Luo, S., Du, Y., Liu, P., Xuan, Z.G. and Wang, Y.Z. (2015) A Study on Co-Evolutionary Dynamics of Knowledge Diffusion and Social Network Structure. *Expert Systems with Applications*, **42**, 3619-3633. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.12.038>
- [17] Mowery, D., Oxley, J. and Silverman, B. (1998) Technological Overlap and Inter-Firm Cooperation: Implications for the Resource-Based View of the firm. *Research Policy*, **27**, 507-523. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(98\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(98)00066-3)

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-7311，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：mm@hanspub.org