

## 敏捷供应链知识网络演化模型及知识扩散仿真

沈睿芳<sup>1,2</sup>, 王道平<sup>1</sup>, 杨吉江<sup>2</sup>

(1. 北京科技大学 东凌经济管理学院, 北京 100083; 2. 清华大学 信息技术研究院, 北京 100084)

**摘要:** 针对敏捷供应链中知识的动态增长和聚类性的特征, 基于改进后的 BA 网络模型构建敏捷供应链知识网络的生长演化模型. 网络中的节点基于节点间的关系强度择优选取并进行连接. 在此基础上, 对网络中知识主体的属性进行定义, 并对网络中的知识扩散过程进行建模. 最后通过计算机仿真对网络中知识主体采用不同的择优连接策略时网络中平均知识存量和知识差异系数的变化趋势进行了对比分析, 得到了提高网络中知识扩散效率的有效对策.

**关键词:** 敏捷供应链; 知识网络; 知识扩散; 无标度网络

中图分类号: F270.7

文献标志码: A

## Evolution model of knowledge network in agile supply chain and simulation of the knowledge diffusion

SHEN Rui-fang<sup>1,2</sup>, WANG Dao-ping<sup>1</sup>, YANG Ji-jiang<sup>2</sup>

(1. Dongling School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Information Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China. Correspondent: SHEN Rui-fang, E-mail: ruifangshen@163.com)

**Abstract:** The growth and evolution model of the knowledge network in agile supply chain is built based on the improved BA network model, against the features of dynamic growth and clustering of the knowledge in the agile supply chain. The node in the network is connected to others based on the relationship strength. Attributes of the knowledge subject in the network is defined and the diffusion process model of knowledge in the network is proposed on the basis of the growth and evolution model above. Finally, the average knowledge stock of the network and the difference coefficient of knowledge in the network are comparative analyzed by using the method of computer simulation, when the knowledge subject in the network chooses different mechanism of preferential attachment, so that the effective countermeasures are obtained to improve the efficiency of knowledge diffusion.

**Key words:** agile supply chain; knowledge network; knowledge diffusion; scale-free network

### 0 引言

知识经济时代的到来使得供应链企业的战略性资源已不再是以往的金融资本, 而是对知识的利用及创新能力. 管理学大师彼得·德鲁克曾说过, 知识已经成为关键的经济资源, 而且是企业竞争优势的主导性来源. 尤其在敏捷供应链环境下, 成员企业面临着一个更加开放的知识环境, 企业的生存和发展越来越依赖于知识的共享和获取. 敏捷供应链知识网络具有明显的动态增长性和聚类性. 在网络生长和演化的过程中, 网络中的知识也在不断发生转移和扩散. 敏捷供应链中的企业能否快速高效地与知识合作伙伴建立连接并获取所需知识是提升企业核心竞争力的关键,

而网络中的知识主体选择知识合作伙伴时的择优策略直接影响到了知识网络的连接结构. 本文基于改进的 BA 无标度网络模型, 构建一种敏捷供应链知识网络模型, 网络中的节点依据一定的择优策略来选择知识合作伙伴. 在此基础上, 建立节点之间知识的转移和扩散的规则, 并通过计算机仿真的方法进行对比分析. 所得结果表明, 知识主体的择优策略对网络中的平均知识存量和知识差异系数具有重要影响, 该研究对供应链中的企业在选择知识合作伙伴时制定择优策略具有一定的借鉴意义.

### 1 相关研究综述

国内外许多学者研究了网络的连接结构对网络

收稿日期: 2013-01-28; 修回日期: 2014-04-17.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71172169).

作者简介: 沈睿芳(1978—), 女, 讲师, 博士生, 从事供应链管理、知识管理的研究; 王道平(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理、数据挖掘等研究.

中知识扩散效率的影响。Borgatti<sup>[1]</sup>指出, 根据对关系及其功能看法的不同, 网络研究中存在结构主义和连接主义, 结构主义注重网络的结构特征而忽视关系内容, 连接主义则相反。Cowan 等<sup>[2]</sup>考察了包括规则网络、随机网络和小世界网络在内的网络结构对个体间知识扩散的影响, 发现“小世界网络”结构下的知识扩散速度是最快的。Tang 等<sup>[3]</sup>则研究了不同的组织网络拓扑结构对于组织间知识转移的影响, 构建了单层感知器模型并对组织间的知识转移进行仿真, 研究结果表明, 无标度网络结构比层级网络结构有着更好的知识转移效果。2008 年, Tang 等<sup>[4]</sup>又采用虚拟实验的方法来探索知识转移和网络组织动态行为模式的相互依赖性, 研究表明, 知识转移速度和组织个体的影响力在知识转移过程中发挥着主导性作用, 更大的网络组织、更多连接点和更高节点密度的组织将提高其知识地位。上述学者均从连接结构的角度对网络中的知识扩散行为进行了研究, 但并未对网络节点间的择优连接偏好与知识扩散效率之间的关系展开深入研究。

从研究方法上看, 有些学者从系统动力学角度研究了网络中知识扩散问题。王道平等<sup>[5]</sup>基于系统动力学对供应链知识扩散模型进行了仿真研究, 发现中心结构比层链结构在知识扩散方面更具效率; 通过对影响知识扩散效率的各因素进行参数分析, 为其效率改进提供了有价值的建议。姜照华<sup>[6]</sup>从知识供应链的角度分析了产业集群的形成机理, 并基于系统动力学建立了知识网络动力学模型, 从知识网络结构优化的角度探讨了知识关联强度矩阵的调整规则问题。然而, 采用系统动力学的方法往往无法洞悉网络在演化过程中涌现出的某些复杂特性。因此, 有些学者从复杂网络建模的角度研究知识网络中的知识扩散问题。Lin 等<sup>[7]</sup>对规则网络、小世界网络、随机网络和无标度网络这 4 种典型网络的知识创新和扩散过程进行了量化研究, 发现知识增长的扩散时间与网络规模呈线性关系, 而且无标度网络比其他网络具有更快的知识扩散速度和更好的知识转移绩效。Cowan 等<sup>[2]</sup>分析了网络结构与扩散绩效之间的关系, 认为小世界网络模型的平均知识恒态水平是最大的, 而知识变化系数是最小的。Kim 等<sup>[8]</sup>提出了基于社会网络分析方法的研发合作网络的知识扩散模型, 分析了网络结构对知识扩散绩效的影响, 研究表明小世界网络对于知识扩散而言是更加有效和合理的。国内学者李志刚等<sup>[9]</sup>基于小世界模型对产业集群知识增长过程进行了建模; 孟晓飞等<sup>[10]</sup>利用多智能体模型模拟网络环境下的知识扩散过程, 得出了不同状态对知识扩散的影响; 胡峰等<sup>[11]</sup>应用复杂网络模型模拟了知识在社会网络中扩散的过程, 并认为当

社会网络为小世界网络时, 知识扩散的平均知识水平最高, 差异性最小。上述学者均采用复杂网络建模方法对知识网络中的知识扩散行为进行了深入研究。但从目前看, 鲜有学者将复杂网络方法与敏捷供应链知识网络的动态演化过程有机结合, 并对其中的知识扩散过程进行研究。

本文构建的敏捷供应链知识网络不仅包括供应链中的成员企业, 还包括大学及科研院所、行业协会及中介机构等知识主体, 由于主体间存在复杂的知识供应和需求关系而形成了自组织、动态演化的网络。随着供应链中成员企业之间知识合作关系的日渐深入, 网络的生长和演化具有明显的过程性、增长性和聚类性, 即敏捷供应链知识服务网络的生长演化过程具有明显的无标度网络特征。因此, 基于复杂网络中的无标度网络建模方法来研究敏捷供应链知识网络, 能够更加准确地描述网络、深刻地理解网络的生长过程、挖掘其演化规律。本文首先在相关实证研究基础上, 分析敏捷供应链知识网络中影响知识扩散效率的主要因素, 然后基于改进的 BA 无标度网络模型, 构建知识网络演化模型, 并对网络中的知识扩散过程进行建模。同时研究了主体采用不同的择优连接策略对网络中的知识扩散效率的影响, 从而发现网络中影响知识扩散的主要动力因素, 以达到提高网络中的知识扩散效率, 进而提升整个供应链网络核心竞争力的目的。

## 2 网络模型描述

敏捷供应链是一种特殊的组织形式, 强调链条整体的协调性和一致性, 需要知识合作双方具有较高的合作条件才能有效促进网络中知识的扩散, 从而保障合作的顺利实现, 体现其“敏捷性”。知识主体之间的关系特性包括信任程度、沟通程度、知识距离、物理距离等。相关实证研究<sup>[12-13]</sup>表明, 知识主体双方的关系强度对网络中知识的转移和扩散效果有显著的正相关。为了体现敏捷供应链的特殊要求, 本文将知识主体间的关系特性归结为关系强度, 对复杂网络中经典 BA 网络模型进行改进, 针对敏捷供应链中知识扩散的特点, 基于节点间的关系强度来构建网络的演化模型。

### 2.1 初始网络定义

假设敏捷供应链知识网络可以由集合  $G = (N, W)$  描述。其中:  $N$  表示知识服务主体的集合; 加权邻接矩阵  $W$  表示连接两个知识服务主体间的关系强度, 其矩阵元  $\omega_{ij}$  ( $\omega_{ij} \geq 0$ ) 代表知识主体  $i$  与知识主体  $j$  之间的合作关系的强弱。由于节点间的知识合作关系是相互的, 这里假设敏捷供应链知识扩散网络是

一种无向网络, 即  $\omega_{ij} = \omega_{ji}$ . 下面引入点强度的概念, 将敏捷供应链知识网络中知识主体的点强度  $S_i$  [14] 定义为

$$S_i = \sum_{j \in \tau_i} \omega_{ij}, \quad (1)$$

其中  $\tau_i$  为知识主体  $i$  的近邻集合. 点强度的概念既包含了知识主体的近邻数, 又考虑了该主体与近邻之间的权重, 是该知识主体在局域世界知识影响力的综合体现.

## 2.2 增长模型设计

很多复杂网络中的节点在进行择优连接时都具有偏好选择机制 [15]. 在敏捷供应链知识网络中, 想获得网络中全部节点的信息可能会付出较高的代价, 如经济成本和时间成本. 因此, 供应链中的企业可能会根据一定的择优概率来选择知识合作伙伴, 如与距离较近、贸易联系更为紧密的少数企业建立知识合作关系. 在新节点进入网络时, 往往也会根据一定的概率择优选择知识合作伙伴并进行连接. 基于上述分析, 本文设计了敏捷供应链知识网络的局域增长模型, 即在较小范围的局域世界内根据一定的择优概率选择知识主体并进行连接. 为了便于研究, 新的网络模型遵循均匀增长的机制, 即以等时间间隔向网络中加入新节点. 具体算法如下.

1) 开始给定由  $N_0$  个知识主体和  $E_0$  条边组成的初始敏捷供应链知识网络, 并赋予每条边的初始连接强度为  $\omega_0$ . 这里  $\omega_0$  随机地取自均值分布  $U(0, 1)$ , 1 表示最强的合作关系, 0 表示无合作关系.

2) 每个时间间隔, 在现有的敏捷供应链知识扩散网络中随机地选取  $M$  个成员, 作为新节点的局域世界, 记为  $LW$ .

3) 以概率  $q$  增加一个知识主体  $j$ , 同时在步骤 2) 中定义的局域世界  $LW$  中按下式的概率择优选择  $m$  ( $m < M$ ) 个已存在的知识服务主体与新的知识服务主体  $j$  连接, 并赋予按照此方式连接的边的关系强度为  $\omega_{ij}$ ,  $\omega_{ij}$  的初值随机地取自均值分布  $U(0, 1)$ :

$$\Pi_{\text{local}}(j \rightarrow i) = \Pi'(i \in LW) \frac{S_i}{\sum_k LW S_k}, \quad (2)$$

其中  $\Pi'(i \in LW) = M/N$ . 这里节点的点强度反映了其在局域世界的知识影响力, 节点的点强度越大, 越容易吸引其他节点与其建立知识合作关系.

4) 以概率  $1 - q$  加入  $m$  条边, 其中边的一端随机选取, 假设为节点  $i$ ; 另一端根据下式中定义的择优概率进行选取, 允许重连. 若重连, 则边的连接强度  $\omega_{ij}$  相应地增加, 即 [16]

$$\omega_{ij,t+1} = \omega_{ij} - \varepsilon(k \in LW - j), \quad (3)$$

其中  $\varepsilon$  为关系强度变化值. 经过  $t$  个时间步, 最终得到具有  $N = N_0 + qt$  个知识主体和  $E_0 + mt$  条边的敏捷供应链知识网络.

## 3 网络中的知识扩散过程建模

### 3.1 知识扩散的内容和形式

本文研究的敏捷供应链知识网络不仅包括供应链中的成员企业, 还包括大学及科研院所、行业协会以及中介机构等知识主体, 由于主体间存在复杂的知识供应和需求关系, 从而形成了自组织、动态演化的网络. 敏捷供应链知识服务网络中的知识转移和扩散一般发生在供应链的上下游企业、同行企业、企业和科研院所及中介机构和政府机构之间. 其中技术及人才交流、联合研发等知识流动和知识创新活动已成为知识扩散的主要途径. 另外, 供应链中的成员企业之间为了建立战略合作伙伴关系, 往往会通过建立跨职能团队、共同研发小组等加强相互间的合作, 共同进行技术创新和知识的创造, 以提高供应链整体的竞争优势. 敏捷供应链知识网络中知识扩散的形式和内容如表 1 所示.

表 1 敏捷供应链知识网络中知识扩散的形式和内容

项目	内容
知识扩散主体	供应链中的上下游企业之间
	供应链中的同行企业之间
	企业与科研院所之间
	企业与中介机构及政府之间
知识扩散方式	联合研发、人才培养及交流
	技术交流、观摩学习、专利转让
	联合研发、产学研合作 知识交流、培训及学习
知识扩散内容	供应链协同知识、产品研发知识、采购和供应计划
	产品研发知识、专利知识、生产及管理经验
	产品研发知识、创新性知识 相关法规及政策知识

### 3.2 知识主体的属性定义

这里将敏捷供应链知识网络中的知识主体抽象为网络中的一个节点, 节点之间的连线即为知识主体之间的知识需求关系. 假设每个节点都是一个可以通过接受其他节点提供的知识来学习和吸收新知识并提高知识水平的智能体. 网络中的每个节点都拥有一定的知识存量, 代表企业所拥有的各种资源和知识. 为了简化计算, 本文用标量  $v_i(t)$  来表示知识主体  $i$  在  $t$  时刻拥有的知识存量. 下面给出节点的知识吸收能力的定义.

供应链企业的知识吸收能力是指认识和估价外部信息, 并消化吸收、应用外部信息的能力 [17-18], 它

是实现知识在供应链中快速、顺畅传播的保证. 企业外部知识和信息对其发展的重要性日益增加, 供应链中的企业需要具有更高的吸收能力, 以便搜寻、提取和运用其合作伙伴的知识. 知识接受方的知识吸收能力与知识转移效率呈正相关性, 这在很多学者的实证研究中得到证实<sup>[19-20]</sup>. 供应链中企业的知识吸收能力是动态变化的, 它被认为是企业已有知识的函数<sup>[21]</sup>, 随着知识接受方的知识水平的不断提高而增强. 因此, 模型中为每个知识主体赋予一个变量  $C_i$ , 表征节点的知识吸收能力. 在敏捷供应链知识网络中, 知识主体的知识吸收能力主要是指网络节点认可并接受某种新知识的能力. 因为网络中的节点接受知识服务的过程中必然会发生知识损耗, 节点对所接受的知识只能部分吸收, 所以  $0 < C_i < 1$ .  $C_i$  与节点的知识存量  $v_i(t)$  之间的关系为

$$C_i = \frac{1}{1 + e^{-\lambda v_i(t)}}, \quad (4)$$

其中参数  $\lambda$  用来调节节点的知识吸收能力随节点的知识存量增长的速度<sup>[22]</sup>. 从式 (4) 中可以看出, 节点的知识吸收能力随着知识存量的增长而减小, 即随着节点自身知识水平的提高, 其知识需求会相应减少.

### 3.3 节点间知识扩散规则

网络中知识的扩散是以节点间的知识转移为基础的. 供应链中的成员企业之间发生知识转移和扩散通常是基于利益驱动的. 例如制造商为了使供应商或销售商提供的产品和服务满足自身生产的需求, 会主动通过专利或技术转让、提供技术咨询等方式为其合作伙伴提供所需的技术和知识. 另外, 网络中的知识扩散是以主体间存在一定的知识位势差为基础的, 网络中各主体知识存量的多少决定了其知识位势的高低, 即存在知识位势差. 左美云<sup>[23]</sup>认为, 知识转移是指知识势能高的主体向知识势能低的主体转移知识内容的过程. 随着网络的动态演化, 各主体之间的知识位势差也在不断变化, 这也成为知识在网络中发生转移和扩散的重要前提条件.

基于前面建立的敏捷供应链知识网络演化模型以及对网络中知识扩散影响因素的分析, 下面对网络中知识扩散的规则进行定义. 假设  $i$  为知识接受方,  $j$  为知识提供方,  $v_i(t)$  为节点  $i$  在  $t$  时刻的知识存量,  $v_j(t)$  为节点  $j$  在  $t$  时刻的知识存量. 随着知识网络的生长和演化, 这里假设网络中的节点只要建立连接就会发生知识的转移, 则节点  $i$  的知识存量更新规则为

$$k_i(t+1) = k_i(t) + \Delta k_{ij}(t), \quad (5)$$

其中  $\Delta k_{ij}(t)$  为  $t$  时刻节点  $i$  与节点  $j$  之间的知识转移量, 可由下式计算:

$$\delta k_{ij}(t) = \max\{C_i R(k_j(t) - k_i(t)), 0\}. \quad (6)$$

即节点  $i$  与节点  $j$  之间的知识转移量与节点  $i$  的知识吸收能力有关. 如前文所述, 本文构建的敏捷供应链知识网络不仅考虑了新节点的加入, 还考虑了旧节点之间的知识合作关系的演化. 若节点  $i$  在  $t$  时刻为知识接受方, 则在  $t+1$  时刻可能成为知识提供方, 并将知识转移给网络中的其他节点, 即知识以节点间的知识合作网络为载体完成了其扩散过程.

## 4 网络的演化及知识扩散仿真分析

### 4.1 知识扩散效率的衡量指标

由于网络的动态演化性和其中知识的复杂性, 选择知识扩散效率的衡量指标较为困难. 目前较为通用的衡量网络中知识扩散效率的指标有 3 个: 1) 计算网络在生长演化过程中某个时刻的平均知识存量; 2) 知识增长速度; 3) 网络知识存量的差异程度. 为了简化研究, 网络节点的初始知识存量数值大小通过计算机随机赋值的方法获得. 在  $t$  时刻, 网络的平均知识存量是  $N$  个知识主体的知识存量累加后除以网络规模, 即

$$\bar{v}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i \in N} v_i(t). \quad (7)$$

另外, 本文用知识存量标准差  $\sigma(t)$  来反映  $t$  时刻知识服务网络的整体知识存量差异程度, 即

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i \in N} (v_i(t) - \bar{v}(t))^2}. \quad (8)$$

然而, 知识存量差异程度  $\sigma(t)$  会随着知识存量的提高而增大, 其绝对数的大小并不能客观、准确地反映出知识存量的差异程度, 因此这里用差异系数  $S(t)$  来反映网络知识存量的差异性<sup>[22]</sup>, 即

$$S(t) = \frac{\sigma(t)}{k(t)} \times 100\%. \quad (9)$$

下节将采用计算机模拟的方法对以上参数进行对比分析. 由于网络中知识的扩散速度可以通过网络达到较高知识存量的期数来衡量, 本文将采用网络的平均知识存量和知识差异系数这两个指标来衡量敏捷供应链知识网络中知识扩散的效率.

### 4.2 基于主体选择策略的知识扩散仿真研究

设定仿真步长  $t = 500$ , 构成局域世界的节点总数为  $M = 10$ , 每个时间间隔增加 5 条边 (即  $m = 5$ ),  $\varepsilon = 0.01$ . 基于本文构建的敏捷供应链知识网络, 当新节点加入网络或者旧节点间增加新的连接时, 都会根据一定的概率择优选择知识合作伙伴. 这里假设在网络的生长演化过程中, 知识主体有 3 种择优选择策略: 强度优先、度优先和知识优先. 采用强度优先策略表明知识主体在选择知识合作伙伴时, 更倾向于关系较为持久稳定的节点; 采用度优先策略表明知识主体更倾向于选择网络中心度较高、具有更多连接的节点; 采用知识优先策略说明知识主体更倾向于选择知识

量较多、种类更富的节点.若采用度优先和知识优先策略,则可将式(2)分别改为如下形式:

$$\Pi_{\text{local}}(j \rightarrow i) = \Pi'(i \in LW) \frac{k_i}{\sum_k LW^{k_k}}, \quad (10)$$

$$\Pi_{\text{local}}(j \rightarrow i) = \Pi'(i \in LW) \frac{v_i}{\sum_k LW^{v_k}}. \quad (11)$$

其中:  $k_i$  为节点  $i$  的度,即与节点  $i$  直接相连的边数,反映了节点在网络中的中心度;  $v_i$  为节点  $i$  在某个时刻的知识存量.

随着网络的生长演化,为了使各统计量具有收敛特性和普适性,假设初始网络节点的知识存量均在  $(0, 100)$  之间随机赋值.本文采用仿真软件 Matlab 7.0 对网络的平均知识存量和网络的知识差异系数进行模拟仿真,均取 20 次仿真结果的平均值.下面分别分析  $q$ 、 $\lambda$  取不同值时,对网络知识扩散的效率有何影响.

1)  $q$  取不同值时,不同的择优策略对网络中平均知识存量的影响.网络中的平均知识存量较高表明其拥有较高的知识水平.在前文所述的敏捷供应链知识网络演化模型中,加点和加边概率  $q$  的大小表明了网络在演化过程中更倾向于增加节点还是连边.图 1 和图 2 分别为  $q = 0.2$  和  $q = 0.8$  时网络中平均知识存量的对比,这里取  $\lambda = 0.5$ .

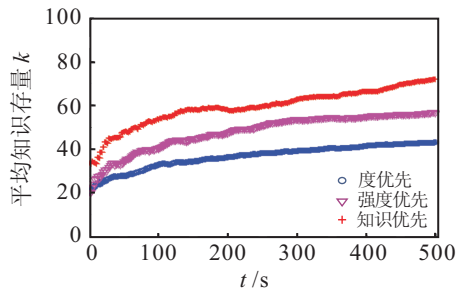


图 1  $q = 0.2, \lambda = 0.5$  时 3 种策略的网络平均知识存量对比

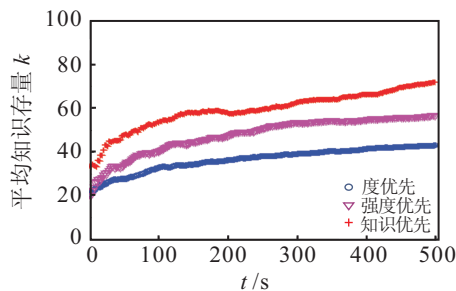


图 2  $q = 0.8, \lambda = 0.5$  时 3 种策略的网络平均知识存量对比

由图 1 和图 2 可以看出,无论新节点初始知识存量如何选取,基于 3 种不同连接策略的网络平均知识存量具有相同的演化趋势,即随着网络的生长,知识存量呈整体上升的趋势.值得注意的是,随着网络的

生长演化,3 种策略的网络平均知识存量增长幅度都逐渐变缓.这是由于在敏捷供应链知识网络演化过程中,网络中的知识存量将逐渐达到饱和状态,从而导致出现知识增长速度趋于零的现象,这与实际的知识网络演化过程相符.从图 1 和图 2 中还可以看出,当  $q = 0.2$  时,基于强度优先策略的网络相比其他两种策略,平均知识存量的增长幅度较大,即具有较高的知识增长速度,网络在较短的时间内就能达到一个较高的知识水平.当  $q = 0.8$  时,基于知识优先策略的演化网络能较快地增长到一个较高的知识水平.这个结果体现了当新节点加入网络并选择知识合作伙伴时,知识优先策略能较快地选择知识合作伙伴并获取所需知识,网络整体具有较高的知识扩散效率.当网络内部的节点间相互选择知识合作伙伴时,强度优先策略明显优于其他两种择优策略,说明选择关系强度较为密切的知识合作伙伴更有助于高效地获取所需知识.

2) 仍取  $\lambda = 0.5$ ,其他参数不变,考察  $q$  取不同值时不同择优策略下网络的知识差异系数对比.图 3 和图 4 分别为当  $q = 0.2$  和  $q = 0.8$  时不同择优连接策略网络的知识差异系数对比,这里取  $\lambda = 0.5$ .

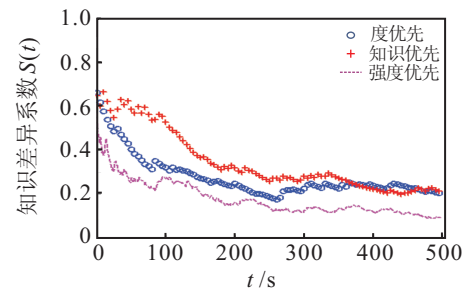


图 3  $\lambda = 0.5, q = 0.2$  时 3 种择优连接策略网络的知识差异系数

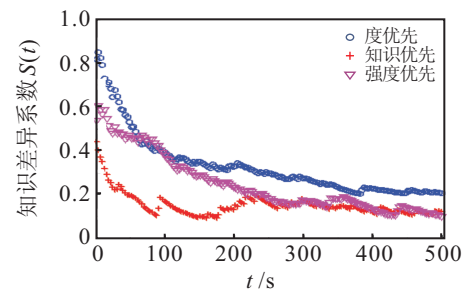


图 4  $\lambda = 0.5, q = 0.8$  时 3 种择优连接策略网络的知识差异系数

由图 4 可以看出,无论  $q$  取何值,不同连接策略的网络知识差异系数均呈现了整体振荡下降的趋势.在敏捷供应链知识网络中,随着网络中的知识存量逐渐升高,节点间知识的转移和扩散活动越来越频繁,致使网络中节点之间的知识差异逐渐缩小.从图 3 中可以看出,当  $q = 0.2$  时,采取强度优先连接策略的网络知识差异系数整体最低,其次是知识优先连接策略,

这个结果也与文献[7]的研究结果相一致. 另外, 基于强度优先的网络初始具有较大的知识差异系数, 随着网络的生长演化, 其知识差异系数减小幅度较大. 这说明网络中的节点获取新知识的渠道较为畅通, 网络具有较好的沟通度, 有利于提高知识在网络中的扩散效率. 从图4中可以看出, 当  $q = 0.8$  时, 基于知识优先的择优策略网络的知识差异系数整体最低, 并且整体波动较平稳. 这说明基于知识优先择优策略的网络中知识资源配置效率较高, 各知识主体均能较为公平地享受整个敏捷供应链知识网络知识增长带来的好处. 因此, 当网络中新节点选择知识合作伙伴时, 如果采用基于知识优先的策略, 将能更加快速高效地获取所需知识, 体现了整个知识网络的“敏捷性”.

3) 接下来观察当  $\lambda$  取不同值时对网络中知识扩散效率的影响. 这里网络节点在(0,100)之间随机赋值.  $\lambda$  值越大, 说明网络中节点的知识吸收能力随节点的知识存量增长速度越高. 图5为  $\lambda = 0.1$  和  $\lambda = 0.9$  两种较极端的情况下基于强度优先策略的网络平均知识存量对比.

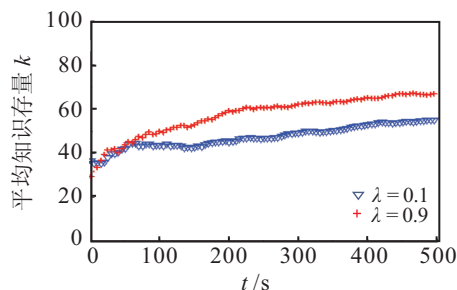


图5  $\lambda$ 取不同值时基于强度优先策略的网络平均知识存量对比

由图5可以看出: 在网络的生长演化过程中, 较大的  $\lambda$  值可以使网络中的平均知识存量能较快地达到较高水平, 且网络的平均知识存量整体水平也较高;  $\lambda$  值越小, 网络的整体知识水平越低. 另外, 随着网络的规模不断增大, 两条曲线的差距逐渐拉大, 说明  $\lambda$  的取值对网络的整体知识水平影响越来越明显. 因此, 敏捷供应链中的企业平时应注重于提高自身的知识吸收能力, 即对知识的利用和创新能力, 这将有助于提升网络的整体知识水平, 进而提高其知识扩散的效率.

## 5 结 论

敏捷供应链是一种特殊的组织形式, 特别强调其链条整体的协调性和一致性, 从而保障合作的顺利实现. 网络中的知识主体在选择知识合作伙伴时采用的择优策略, 对网络中整体知识水平及知识扩散效率的提高具有重要影响. 本文基于复杂网络中的经典 BA 无标度网络, 采用基于节点间的关系强度的择优连接机制, 对敏捷供应链知识网络中知识节点之间建

立知识合作关系的过程进行了模拟. 在此基础上, 对网络中知识节点的属性进行定义, 建立了知识转移和扩散的规则, 利用仿真软件 Matlab 7.0 对网络中知识扩散的过程进行了仿真分析. 本文重点考察了节点基于不同择优连接策略时, 网络中的平均知识存量和知识差异系数的变化趋势. 仿真结果表明, 当新节点加入网络时, 若采用基于知识优先的择优策略进行连接, 则网络的知识扩散效率较高, 即节点能够快速高效地获取到所需知识. 当网络中原有节点选择知识合作伙伴时, 若采用基于强度优先的择优策略, 则网络中的知识扩散效率较高. 另外, 文中还考察了节点的知识吸收能力对网络平均知识存量的影响. 该结果对敏捷供应链中的企业制定知识合作和知识创新策略以及整个供应链的知识管理决策具有一定的指导意义. 本文没有考虑采用混合策略对网络中知识扩散效果的影响, 这将是下一步的研究重点.

## 参考文献(References)

- [1] Borgatti S P. The network paradigm in organizational research: A review and typology[J]. J of Management, 2003, 29(6): 991-1013.
- [2] Robin Cowan, Nicolas Jonard. Network structure and the diffusion of knowledge[J]. J of Economic Dynamics and Control, 2004, 28(8): 1557-1575.
- [3] Tang F C, Xi Y M, Ma J. Estimating the effect of organizational structure on knowledge transfer: A neural network approach[J]. Expert Systems with Applications, 2006, 30(4): 796-800.
- [4] Tang F C, Mu J F, MacLachlan D L. Implication of network size and structure on organizations' knowledge transfer[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34(2): 1109-1114.
- [5] 王道平, 周叶, 孙庆彬. 基于系统动力学的供应链知识扩散模型及其仿真研究[J]. 管理学报, 2012, 9(11): 36-42. (Wang D P, Zhou Y, Sun Q B. Study on the knowledge diffusion model and simulation of the supply chain based on system dynamics[J]. Chinese J of Management, 2012, 9(11): 36-42.)
- [6] 姜照华. 产业集群条件下知识供应链与知识网络的动力学模型探讨[J]. 科学学与科学技术管理, 2004, 22(7): 55-60. (Jiang Z H. A dynamics model of the knowledge supply chain and knowledge network in the industry clusters[J]. Science of Science and Management of S&T, 2004, 22(7): 55-60.)
- [7] Min Lin, Nan Li. Scale-free network provides an optimal pattern for knowledge transfer[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2010, 389(3): 473-480.

- [8] Hyukjoon Kim, Yongtae Park. Structural effects of R&D collaboration network on knowledge diffusion performance[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 5(36): 8986-8992.
- [9] 李志刚, 汤书昆, 梁晓艳, 等. 基于网络结构的产业集群知识创新和扩散绩效[J]. *系统工程*, 2007, 25(5): 1-8.  
(Li Z G, Tang S K, Liang X Y, et al. Performance of knowledge innovation and diffusion in the industry clusters based on network structure[J]. *Systems Engineering*, 2007, 25(5): 1-8.)
- [10] 孟晓飞, 刘洪, 吴红梅. 网络环境下知识扩散的多智能体模型研究[J]. *科学学研究*, 2003, 21(6): 636-641.  
(Meng X F, Liu H, Wu H M. Multi-agent model of knowledge diffusion in network space[J]. *Study in Science of Science*, 2003, 21(6): 636-641.)
- [11] 胡峰, 张黎. 知识扩散模型及其启示[J]. *情报学报*, 2006, 25(1): 109-114.  
(Hu F, Zhang L. A network model of knowledge diffusion and its implications[J]. *J of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2006, 25(1): 109-114.)
- [12] 华连连. 制造业供应链企业间知识流动优化研究[D]. 昆明: 昆明理工大学管理与经济学院, 2011: 53-57.  
(Hua L L. Study on optimization of knowledge flow for manufacturing supply chain[D]. Kunming: School of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, 2011: 53-57.)
- [13] 张旭梅, 陈伟, 张映秀. 供应链企业间知识共享影像因素的实证研究[J]. *管理学报*, 2009, 6(10): 1296-1301.  
(Zhang X M, Chen W, Zhang Y X. An empirical study on influencing factors of knowledge sharing between members of supply chain[J]. *Chinese J of Management*, 2009, 6(10): 1296-1301.)
- [14] 王光增. 基于复杂网络理论的复杂电力网络建模[D]. 杭州: 浙江大学电气工程学院, 2009: 18-29.  
(Wang G Z. Complex power network modeling based on complex network theory[D]. Hangzhou: School of Electrical Engineering, Zhejiang University, 2009: 18-29.)
- [15] Frenken K. Technological innovation and complexity theory[J]. *Economics of Innovation and New Technology*, 2006, 15(2): 137-155.
- [16] 张兵, 王文平. 基于策略的非正式知识网络知识流动效率仿真研究[J]. *管理学报*, 2010, 7(5): 706-713.  
(Zhang B, Wang W P. A simulation study on knowledge flowing efficiency of informal knowledge networks based on different interactive policies[J]. *Chinese J of Management*, 2010, 7(5): 706-713.)
- [17] Cohen W, Levinthal D. Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1990, 35: 128-152.
- [18] Szulanski. Exploring internal stickiness: Impediments to the transfer of best practice within the firm[J]. *Strategic Management J*, 1996, 17: 27-43.
- [19] 肖小勇. 组织间知识转移实证研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2009, 7(7): 117-122.  
(Xiao X Y. Empirical study on inter-organizational knowledge transfer[J]. *Science of Science and Management of S&T*, 2009, 7(7): 117-122.)
- [20] 刘旻, 张玲玲, 黄安强, 等. 知识转移绩效影响因素的实证研究[J]. *管理学报*, 2009, 6(11): 1471-1477.  
(Liu Y, Zhang L L, Huang A Q, et al. Empirical study on influencing factors of knowledge transfer performance[J]. *Chinese J of Management*, 2009, 6(11): 1471-1477.)
- [21] 汪应洛, 李勖. 知识的转移特性研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(10): 8-11.  
(Wang Y L, Li X. Research on knowledge transferring characteristic[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2002, 22(10): 8-11.)
- [22] Aladwani A M. An integrated performance model of information systems project[J]. *J of Management Information Systems*, 2002, 19(1): 185-210.
- [23] 左美云. 知识转移与企业信息化[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 99-115.  
(Zuo M Y. Knowledge transfer and enterprise informatization[M]. Beijing: Science Press, 2006: 99-115.)
- [24] 林敏, 李南, 陈婷婷. 基于复杂网络的知识转移模拟与分析[J]. *系统工程*, 2009, 27(3): 115-118.  
(Lin M, Li N, Chen T T. Simulation and analysis of knowledge transfer based on complex network theory[J]. *Systems Engineering*, 2009, 27(3): 115-118.)

(责任编辑: 李君玲)