

基于隶属网络的西安软件产业集群 网络形成机制研究

胡平,王清,陆燕萍

(西安交通大学管理学院,陕西西安710049)

摘要:通过我国知识产权保护中心收集的2000—2007年西安软件产业集群内企业的数据库信息,对该产业集群由隶属网络衍生出的企业间单模网络,利用Pajek软件进行网络可视化分析。分别从企业自我中心网的成长、集群整体网的连通机制及形成机制3方面,对西安软件产业集群网络进行研究。结论表明:①集群内企业自我中心网的成长多是由于企业的同业者增多,而非企业的多元化发展;②龙头企业的多元化发展带来了集群内信息交流范围的融合,促进了信息交流范围的扩散;③西安软件产业集群的信息交流越来越稳定,没有因为个别企业退出网络而受到严重影响;④软件企业趋向于涉足成熟的、同业者多的行业。

关键词:隶属网络;网络可视化;软件产业;产业集群;西安

DOI:10.3969/j.issn.1001-7348.2011.03.017

中图分类号:F427.41

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2011)03-0069-06

软件产业作为高新技术产业的代表性产业,带动着国民经济其它行业的发展,其健康有序的成长对于社会稳定、经济发展起着举足轻重的作用。目前,西安软件产业集群作为全国软件产业集群内的一个重要组成部分,发挥了强大的活力,对推动西安乃至西部经济发展具有重要的现实意义。同时,对于产业集群内的企业和政府等机构而言,了解网络的形成机制、把握网络脉搏有利于制定相关的政策和战略,从而引导和提升产业集群,推动经济的增长。因此,本文将利用西安软件产业相关数据分析西安软件产业集群网络的形成机制。

对该问题的研究在理论和实践方面都具有重要的意义。在理论方面,本文在明确网络对集群带动能力的前提下考察网络的形成机制,以把握集群网络脉络;在实践方面,软件产业是国家建设中的重要产业,研究软件产业集群的动态机制有利于促进产业集群建设。

1 相关理论研究综述

1.1 概念界定

1.1.1 产业集群

该理论首先由Porter^[1]提出,他将其定义为在某一

特定领域中大量联系密切的企业及相关职能支撑机构在空间上的积聚,并形成强劲、持续竞争优势的现象。产业集群有广义和狭义之分,狭义的产业集群仅包括该产业内的企业,而广义的产业集群还包括相关支撑机构。本文界定的产业集群属狭义的范畴,即地理上相互邻近、形成竞争优势的软件产品技术开发企业的集合。

1.1.2 社会网络

社会网络是以人或人的群体为节点构成的集合,这些节点按照某种接触或作用联系在一起^[2]。社会网络根据不同的标准分为不同的类型:按关注内容的不同分为整体网络和自我中心网^[3];按研究数据时点的不同分为静态网络和动态网络^[4];按关系方向的有无分为有向网络和无向网络^[5];按行动者集合类型数目分为单模(One-mode)网络和双模(Two-mode)网络^[2]。本文从产业集群整体网络分析的视角进行研究,研究的软件企业网络界定为由隶属网络衍生的、无向动态的单模网络。

1.1.3 网络可视化

网络可视化是利用图像直观地表达数据以增强对数据的认知^[6]。网络可视化起源于早先的图论和统计模型,它和社会网络研究相伴而生。Moreno^[5]通过“社

收稿日期:2010-05-11

基金项目:国家社会科学基金项目(10BGL032)

作者简介:胡平(1961—),女,江苏人,西安交通大学管理学院管理科学系副教授,博士,研究方向为信息产业及其社会网络分析;王清(1984—),女,陕西人,西安交通大学管理学院管理科学系硕士研究生,研究方向为信息产业及其社会网络分析;陆燕萍(1986—),女,江苏人,西安交通大学管理学院管理科学系硕士研究生,研究方向为信息产业及其社会网络分析。

群图(Sociogram)”对社会网络的研究标志着可视化在社会网络研究中的广泛应用。如今可视化技术已经在纵向、多关系、稠密关系数据的表达上发挥了强大的作用^[7]。对于网络的可视表达可以利用多种手段,绝大部分网络可视化图像均借助点和线进行表达,节点表示社会行动者,节点间连线表示行动者之间的关系^[5]。本文中的网络可视化将关注点和线构成的图。

1.2 企业网络研究

在企业网络研究中,对企业自我中心网和整体网都有研究,但研究面有所不同,自我中心网分析社会连带,而整体网络研究社会结构^[3]。其中,整体网络在实际应用研究中,可根据“模”数的不同分为单模网络与双模网络。隶属网络是双模网络的一种,指含有一类行动者、一类事件的双模网络,网络中的关系为“行动者—事件”隶属关系^[2]。隶属网络又能够衍生出两个单模网络,分别是“行动者—行动者”网络和“事件—事件”网络。

近年来,社会网络分析界的一些研究者将目光投向由隶属网络衍生的单模网络的动态研究。Granovetter^[8]主持的“硅谷社会网络”项目研究了多个由隶属网络衍生的单模网络;Stelle^[9]进一步针对硅谷半导体行业协会研究了由隶属网络衍化而来的单模动态网络;Stark^[10]对匈牙利的政治—商业关系网进行了研究;Casper^[11]对圣地亚哥生物科技产业经理人动态职业网络进行研究。而国内学者对此研究很少,现有的也只基于静态网络研究,如杨建梅等人^[12]对广州软件产业集群企业竞争网络进行了一系列研究。

1.3 网络形成机制研究

复杂网络的形成机制是网络形成过程中所遵循的规律^[13],其面向的不仅仅限于社会网络,而是从自然界、社会经济界入手研究。Watts^[14]以及 Barabási 和 Albert^[15]通过分析万维网等实际网络,从而发现小世界和幂律度分布的共性并提出相关理论。对网络形成机制的研究推动了人们对网络发展的探究和对网络动态学的关注^[13]。Powell 等人^[16]利用网络可视化证明混合机制下动态网络成长特性。著名的公司“谱系(Genealogy)”网^[8]在研究中展示了网络内不同公司的发展机制。目前,对网络成长机制的研究多基于度偏好连接。其中,择优连接法则节点偏向于连接度数大的节点^[15],这种连接带来节点稳定性增强的同时,也使得节点在受到攻击时更容易造成大规模的瘫痪^[17]。

2 研究方法

2.1 研究对象定义及研究内容

文中所研究的软件产业集群的软件产品往往适用于特定行业。从隶属网络角度看,软件企业和国民经济行业之间通过软件产品作为媒介构成间接隶属关

系,如图1所示。

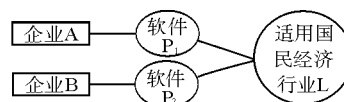


图1 企业“隶属”行业关系

两家企业生产的软件 P_1 、 P_2 都适用于行业 L , 通过企业所生产的产品作为媒介, 企业 A 、 B 均“隶属”于行业 L , 构成了“企业—行业”隶属网络, 并由此衍生出两个单模网络, 即“企业—企业”网络和“行业—行业”网络。本文研究的对象为衍生出的“企业—企业”单模网络。划定网络边界为西安软件产业集群内的软件企业, 网络的节点为产业集群内各软件企业, 网络的关系为相同关联行业关系, 为无向关系。由于该单模网络中的关系无向、有值^[2], 因此两企业间有多少个隶属行业, 他们之间关系的值便为多少。

在分析西安软件企业网络形成机制时, 本文将从隶属网络衍生的单模网络出发, 以动态角度, 利用网络可视化的方法, 选用目前社会网络可视化领域最常用的软件之一 Pajek v2.13^[18] 软件中的 KK 算法^[19], 从以下 3 方面分析:

(1) 基于节点/关系的企业自我中心网动态机制分析: 分别对不同类型的企业自我中心网的成长机制进行可视化分析, 研究网络内核心节点与邻居节点行为对中心网发展的影响。

(2) 基于节点/关系的产业集群整体网络动态机制分析: 连通性作为测度网络凝聚性的重要指标会影响信息在网络内的传递范围与传递效率^[2], 因此将从成长性和破坏性两方面研究西安软件产业集群整体网络的动态机制。

(3) 基于企业自我中心网的产业集群整体网络动态机制分析: 研究是怎样的企业自我中心网变动带来了目前产业集群整体网络的特征, 关注新产生的节点和关系。

2.2 数据收集和处理

本研究中的企业名单数据来源为中国知识产权保护中心的“计算机软件登记公告”数据库, 从中可以得到本研究所需的西安软件企业名单、企业生产的产品、产品登记注册的时间以及各产品所适用的国民经济行业。收集 1992—2007 年首次发表计算机软件著作权产品的企业名单, 共有 426 家。

在进行样本筛选时, 首先根据在中国知识产权保护中心查找的软件产品转移或撤销的信息, 再根据西安工商局、地税局等政府公开数据库对非软件企业进行删除, 同时通过政府数据库与企业声明掌握企业的进退情况, 得到 322 家有效企业的进退情况。另外, 软件企业面向某一行业是本文选择研究对象的前提。故对于 8 年中自始至终都没有特定面向行业的企业进行剔除, 最终得到有效研究对象为 230 家软件企业。最

后对企业按照成立时间的先后顺序进行1—230的编号,企业名单由于篇幅限制略。据此按照研究对象的定义构造网络,完成数据的收集与处理工作。

在衍生出企业间单模网络后,利用指标描述、聚类分析、最优匹配等方法对西安软件产业集群内企业自我中心网与整体网络的动态特征进行研究,得到:①集群内企业的自我中心网可分为孤星型、寒星型、暖星型、明星型4类,其中孤星型指涉足单一行业且该行业内无同业公司,寒星型指涉足1—2个行业且该行业内只有少量同业公司,暖星型指涉足1—2个行业但行业内存在多个同业公司,明星型指涉足多行业且行业内存在多个同业行业;②集群内企业自我中心网的纵向发展序列共有6种,即持续孤星型、持续寒星型、持续暖星型、孤转寒、寒转暖、转为明星型;③西安软件产业集群网络分别在2002、2003、2005、2007年发生主要成分的融合,使得网络内企业间的信息交流范围不断扩大。对该网络特征的具体分析见笔者同期另一篇文章,在此不作详细解释。本文将基于以上网络特征,对西安软件产业集群网络的形成机制进行研究。

3 西安软件产业集群网络形成机制分析

3.1 企业自我中心网的成长机制

本部分将通过Pajek软件进行网络可视化分析,研究西安软件产业集群内的核心节点行为与邻居节点行为(配图中黑色节点为核心节点,白色节点为邻居节点),以考察6类企业自我中心网序列的形成过程。其中,核心节点行为指核心节点涉足新行业后与新行业内的企业形成同业关系,此时核心节点面向行业数与点度中心度均增大;邻居节点行为指其它节点涉足核心节点所面向的行业后,与核心节点构成同业关系,此时核心节点的点度中心度增大但面向行业数不变。

3.1.1 一般型企业的成长机制

“一般型”指企业自我中心网纵向发展序列中除“转为明星型”的其它5种类型,下面分别对这5种序列的形成过程进行阐述。

第1类:持续孤星型。该类企业在发展过程中既无核心节点行为,也无邻居节点行为,导致该类公司长久只面向一个行业,且没有同业者。本文研究的网络中属于这一类型的有10个企业,所占比例为4.35%。所面向的9个行业分别为居民服务业、咨询服务业、水利业、交通运输设备制造业、仪器仪表及其它计量器具制造业、社会福利业、农林牧渔服务业、橡胶制品业与林业。这类行业由于竞争对手少,新加入的公司易显示出自身的独特性,但难以利用规模效应生产配套软件。

第2类:持续寒星型。该类型所占比例最大,为34.35%。企业涉及一或两个行业,且所面向的行业都是参与者较少的行业。故产生该类企业自我中心网动

态序列的节点行为可分为3种:①无核心节点行为,即企业自身没有寻求新的面向行业,同时无邻居节点行为,即原涉足行业一直没有其它新的软件公司介入;②无核心节点行为,但有邻居节点行为,原涉足行业有少量新的软件公司介入。该种节点行为的代表为1号企业,从2000—2004年该公司一直仅面向“商业”,但该行业有其它新的软件公司介入,使得1号企业的点度中心度值相应地提高,具体成长过程见图2;③有核心节点行为,但新发展行业涉足的企业较少。典型代表是68号企业,从2002—2007年该公司从最初仅面向“公共饮食业”转变为最终面向“石油天然气开采业”和“公共饮食业”,建立了新子群和原子群之间的联系,其点度中心度值虽有所增长但仍相对较小。具体成长过程见图3。

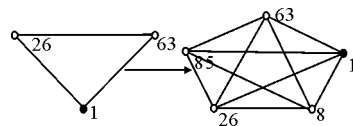


图2 持续寒星型企业通过邻居节点行为成长

第3类:持续暖星型。该类型占29.13%,是比例次大的一类。其核心节点、邻居节点面向行业均与寒星型相似,但点度中心度明显大于寒星型。因此产生该类企业自我中心网动态序列的节点行为也可分为3类进行解释,且可以

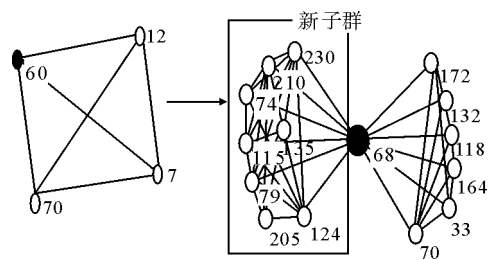


图3 持续寒星型企业通过核心节点行为成长

用类似的图来诠释,区别是无论是核心节点还是邻居节点在图示中的规模(点度中心度)都要大于寒星型。

第4类:孤星型转为寒星型。该类型中只有8家公司,所占比例最小为3.48%。其演变过程可分为两类:①无核心节点行为,有邻居节点行为,但新加入公司数目非常少,企业的点度中心度值只有少量增加;②有核心节点行为,但新发展行业中涉足的软件企业只有少数几家,在本研究的网络对象中不存在该类情况。

第5类:寒星型转为暖星型。该类型呈23.04%,是在有类型转变的企业自我中心网动态序列类型中比例最大的一类。其转变过程与孤转寒相似,可用与孤转寒相似的节点行为来解释,且可以用类似的图来诠释。区别是无论是核心节点还是邻居节点在图示中的规模(点度中心度)都要更大。转为暖星型后,核心节点的规模在19左右,而邻居节点的规模在22左右。

通过以上的分析可以看到,企业自我中心网的成

长基于核心节点与邻居节点的单独或共同行为,由于西安软件产业集群企业面向行业数多为1个,因此该集群内企业自我中心网的成长过程以邻居节点行为为主,核心节点行为为辅。

3.1.2 明星型企业的成长机制

由于明星型企业在网络中地位重要,对其形成机制的研究有利于帮助政策制定者把握网络发展动脉,保护关键性企业,减少网络内信息流通的重大改变。“转为明星型”是对4种情况的统称,本文研究的网络中共有13家该类企业。

第1类:直接为明星型。该类企业由于在成立时选择面向多个热门行业,所选行业已有很多企业涉及,故能立刻成为“明星”。属于该类型的只有1家企业。

第2类:由寒星型直接转为明星型。该类型与直接为明星型相似,企业原面向的行业不热门,在投身于热门行业后立刻转变为明星型企业。属于该类型的有3家企业。

第3类:由暖星型转为明星型。该类企业原面向的行业便有多个企业涉足,企业又在后期进入热门行业,从而使得企业涉及的行业多,且和多个企业保持同业关系,成为明星型企业。属于该类型的有2家企业。

第4类:由寒星型转为暖星型再转为明星型。该类型企业在成立之后逐渐增加面向行业数,并且所面向的行业有其它企业后期加入,使得企业成为明星。属于该类型的有7家企业。

从以上分析可以看出,企业自我中心网动态序列中持续孤星型、寒星型、暖星型的企业比例最多,共占67.83%,说明集群内2/3企业的自我中心网在整个发展过程中均没有发生较大变动;而转型企业的转型过程则呈现渐变的过程,大多遵循从孤星型到寒星型、从寒星型到暖星型、从暖星型到明星型的过程,呈跳跃性发展的企业极少。

3.2 产业集群整体网络的连通机制

西安软件产业集群整体网络的规模在不断增大,网络中最主要成分所占比例也在逐步扩大,因此首先从成长性考察网络中的成分如何融合,使得网络整体最终趋向于全连通的状态,再从破坏性考察删除后会导致网络内最大成分分解的重要节点。

3.2.1 集群网络的连通性

2000—2007年西安软件企业整体网内共发生4次网络成分的融合,其中2002、2005、2007年网络融合时主成分规模变动较大,而2003年网络融合时主成分规模变动较小。现使用Pajek软件的KK算法,将这4个时间段的网络图情况分别进行可视化,并进行相应的阐述。图中三角形的节点代表当年新加入主要成分的点,圆形和方形的节点代表上年存在的2个主要成分,其中圆形节点代表的成分的规模要大于方形节点所代表的成分的规模。

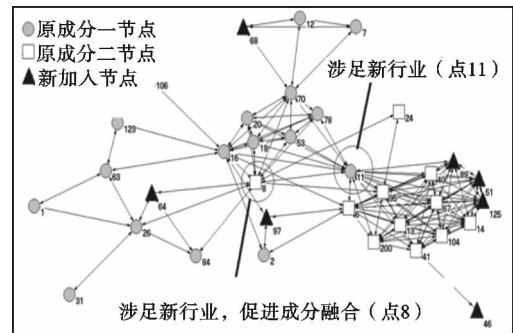


图4 2002年西安软件产业集群网成分融合

2002年西安软件产业集群网中主成分的融合如图4所示。在2001年的网络中,圆形和方形的两个成分是没有交接点的。而由图4可知,2002年圆形点11与方形点8均涉及新的行业,与其2个成分都发生了连接,因而将原来2个成分连接起来的是网络中本来就存在的点11和8。而新加入节点只是加入到了成分中,并没有起到成分融合的作用。

2003年该产业集群网中主要成分融合的过程如图5。由图5可知,连接起圆形成分与方形成分的是三角形点85,这说明是新加入节点将原来的两个成分连接了起来,起到了成分融合的作用,但由于该节点连接的方形成分规模较小,导致本次网络融合时主成分规模的变动较小。而原本存在的点在该阶段没有起到连通网络的作用,其它的三角形新加入节点也只是加入到网络中。

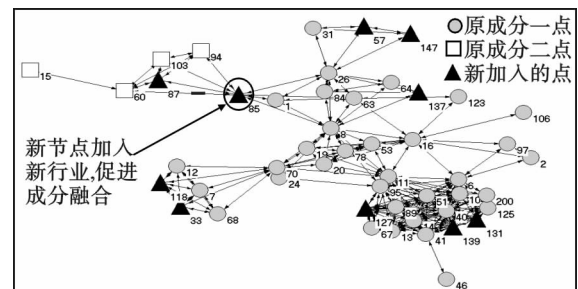


图5 2003年西安软件产业集群网成分融合

2005、2007年该网络内再次发生成分融合,融合的原因也是两大主要成分中原本存在的点涉足新行业,融合过程与2002年时相似。至2007年,该整体网络中最大成分所占比例已经达到92%,网络整体趋向于全连通的状态。

以上分析得出,通过核心节点行为涉足新行业的原有节点成为促进网络成分融合的最主要节点,而同时涉足两个行业的新节点也有机会成为连接网络成分的节点。同时,网络发生融合时,主成分规模变动的大小与导致网络融合的节点所连接的两部分成分规模的大小有关。网络成分的融合,使得处于不同成分中的网络成员的信息得以流通,有利于网络整体创新能力的提升。

3.2.2 集群网络的破坏性

破坏性研究主要考察移除哪些点后网络内的主成

分(占据比例最大的成分)将分解。如一个成分需要移除 n 点后才分解,则这 n 个点的集合被称为 n 节点切集(n -node cut)^[2]。当 n 值越大时,说明该网络的稳定性越好,网络越不容易因为受到攻击而崩解。在选择要移除的点时用中间度^[5]指标进行测度,每一步均选择移除中间度最大的点,因为中间度指标大的点是网络内的信息控制者,移除这类点最容易造成成分的分解。表 1 列出了在移除一定点数后,剩余网络内中间度最大点的序号。

表 1 移除切点后网络内中间度最大点序号

移除量	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007(年)
0	16	16	11	8	8	8	8	9
1			8	16	16	26	26	8
2			16			16	190	26
3							16	190
4								135
5								63

从表 1 可发现,2000、2001 年该整体网络较脆弱,删除一个节点后网络内主成分便会分解。2002 年该网络的凝聚性和强健性有所加强,需删除节点数为 3。2006、2007 年,网络的凝聚性进一步增强,需要分别移除 4 个、6 个点才能分解网络内最大成分。成分分解的主要原因在于删除控制信息沟通的节点切集后,网络中没有其它节点能够将该切集内的节点所涉足的行业联系起来,从而导致这些行业间信息交流的阻断。以 2002 年举例分析,如图 6,在移除黑色菱形表示的切点(点 8、点 11、点 16)后,网络内最大成分主要分解为 3 部分,即灰色圆形、白色三角及白色方形代表的 3 个行业(邮电通讯业、国家机关和企业管理机关),切点的移除影响了这 3 个行业间的信息交流。

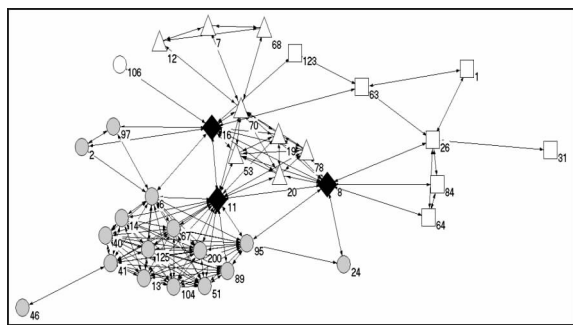


图 6 2002 年西安软件产业集群主成分移除切点

对西安软件产业集群内企业进出情况进行统计发现,集群内企业的退出集中在 2004—2007 年,其间共有 21 家企业退出,而 2006 年退出的企业数目最多为 9 家。由于 2000—2007 年网络内只存在主成分的融合,不存在成分的分解,由此可推定这 4 年间退出节点在网络内的地位并不重要,其退出没有引起网络结构的重大改变。这也说明了退出节点往往在网络中发展不是很好,对于网络中节点间通讯的信息控制力弱。现以 2006 年为例,分析实际中西安软件产业集群内企业的退出对网络连通性的影响,绘制可视化网络图,如图

7 所示。

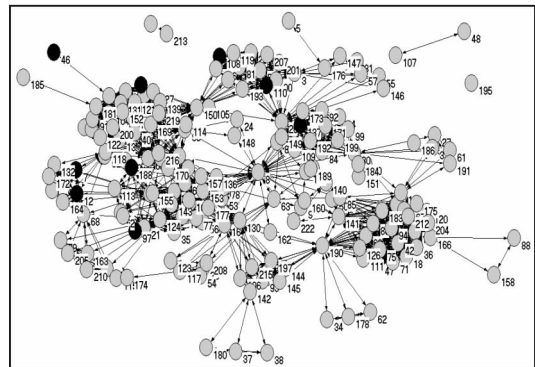


图 7 2006 年西安软件产业网络退出企业

从图 7 可看出,2006 年 9 家软件企业的退出未对整体网络的连通状况产生较大影响。原因在于退出的企业往往只面向单一行业,并不足以成为网络中重要的“桥”。这类节点与其它面向相同行业的企业形成子群,当其退出网络后,子群内其它节点仍然能够维持与其它子群之间的联系,所以不会对网络中的信息传递带来较大冲击。

由此可见,西安软件产业集群网络的稳定性在增强,每年退出网络的节点没有对企业的结构造成大的改变。

3.3 产业集群整体网络的形成机制——择优连接

在研究西安软件产业整体网络形成机制时,可以通过节点形状和内部颜色的搭配来共同表示节点的 6 种动态序列类型,从而同时表达当前网络状况和网络未来发展。目前网络状态由网络内节点的形状决定:孤星型为圆形,寒星型为三角形,暖星型为方形;而网络未来的发展状态由网络节点内部的颜色决定:白色表示保持目前状态不变,灰色表示孤转寒或寒转暖,黑色表示有其它类型转为明星型。从而可以总结出 6 种纵向发展类型的节点的表示方法,如图 8 中节点的表示。

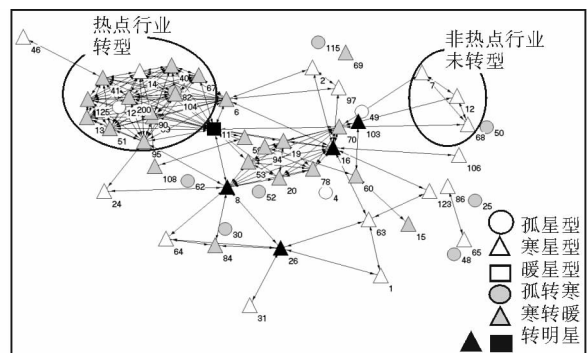


图 8 企业网络 2002 年状态及未来发展嵌套表达

2002 年为西安软件产业集群整体网络的发展早期,此时网络已经初具规模。因此,选择 2002 年集群内企业网络当前状态及未来发展状态进行嵌套研究,从而有利于对软件产业集群发展早期及中后期的发展过程进行比较分析。利用 Pajek 软件绘制 2002 年企业网络静态特征及后续发展特征的嵌套表达图,如图 8 所

示。从静态分析,2002年网络内节点多为三角形,处于寒星型状态;从纵向观察,很多节点内部呈灰色甚至黑色,这说明这些节点在后续阶段会向暖星型甚至明星型发展。

寒星型节点虽然特征相似,但节点的点度中心度指标值仍存在一些差别。从图8中可以看到,同样是三角形节点,那些连接关系多,即点度中心度大的那部分三角形节点,内部多为灰色,说明这些寒星型企业最终能转变为暖星型甚至明星型企业;而那些连接关系少的三角形节点几乎均为白色,说明所代表的企业始终为寒星型。这说明该网络发展中,后来的节点有择优连接的偏好,倾向于面向成熟的行业(面向该行业的软件公司多)。此外,网络中代表暖星型企业的唯一方形为黑色,即该节点最终转为明星型节点,这再次印证了该网络择优连接的动力机制。但由于隶属网络衍生单模网络的特殊性,这种选择是选择“优”的行业进行连接,而非传统意义上的节点择优选择另外一个节点。

4 结论与展望

本文使用Pajek软件对西安软件产业网络的形成机制进行分析,通过网络可视化方法以图形化的方式描述网络的动态发展变化,分别从企业自我中心网的成长、集群整体网络的连通机制及整体网络的形成机制3个方面把握网络形成机制。分析得出:

(1)企业自我中心网的演化是核心节点与邻居节点单独或共同行为的结果,西安软件产业集群内企业自我中心网的成长大多是基于邻居节点行为,即其成长多是由于企业的同业者增多,而非企业的多元化发展。

(2)网络发生融合时,核心节点行为涉足新行业成为促进网络成分融合的最主要原因,即龙头企业的多元化发展带来了集群内信息交流范围的融合,起到了桥梁的作用,促进了信息交流范围的扩散。

(3)从破坏性看,使网络主成分分解所需移除的点越来越多,即使产业集群的信息交流受阻需要移除越来越多的龙头企业,说明西安软件产业集群的信息交流越来越稳定;另外,每年退出网络的企业没有对集群内企业间的信息交流造成大的改变。

(4)西安软件产业集群网络内企业存在择优选择,但企业选择的并不是其它软件企业,而是选择成熟的、同业者多的行业中。

本文研究中仍然存在一些不足。文章对数据采集不够完备,没有包括2008年的数据,同时仅关注了西安软件产业集群,无法对不同地区软件产业集群之间进行比较。今后可以从这两个方面继续研究。

参考文献:

[1] MICHAEL P. Clusters and the new economics of competi-

tion[J]. Harvard Business Review, 1998, 76(6): 77-90.

- [2] WASSERMAN S, FAUST K. Social network analysis: methods and application[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [3] 罗家德. 社会网络分析讲义[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2005.
- [4] SCOTT J. Social network analysis: A handbook[M]. London: Sage Publications, Inc, 2000.
- [5] FREEMAN LC. Visualizing social networks[J]. Journal of Social Structure, 2000, 1(1): 1-5.
- [6] CARD S, MACKINLAY J, SHNEIDERMAN B. Readings in information visualization, using vision to think[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, Academic Press, 1999.
- [7] MCGRATH C, KRACKHARDT D, BLYTHE J. Visualizing complexity in networks: seeing both the forest and the trees[J]. Connections, 2003, 25(1): 37-47.
- [8] EMILIO J, GRANOVETTER E, GRANOVETTER M, et al. Social network in silicon valley[M]. Stanford: Stanford University Press, 2000.
- [9] STELLE VJ. Centrality and influence in the semiconductor industry association: an exploratory study[C]. International Sunbelt Social Network Conference, LA: New Orleans February, 2002: 89-99.
- [10] STARK D, VEDRES B. Politicized Business Ties: Network Dynamics of a Democratizing Polity and a Globalizing Economy, Hungary 1987-2006 [EB/OL]. [2007-3-4]. http://www.coi.columbia.edu/pdf/stark_vedres_pbt.pdf.
- [11] CASPER S. How do technology clusters emerge and become sustainable? Social network formation and inter-firm mobility within the San Diego biotechnology cluster[J]. Research Policy, 2007, 36(4): 438-455.
- [12] 杨建梅, 王舒军, 陆履平, 等. 广州软件产业社会网络与竞争关系复杂网络的分析与比较[J]. 管理学报, 2006, 3(6): 723-727.
- [13] NEWMAN MEJ. The structure and function of complex networks[J]. SIAM Review, 2003(45): 167-256.
- [14] WATTS DJ. Small Worlds: The dynamics of networks between order and randomness[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1999.
- [15] BARABASI AL, ALBERT R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999(286): 509-512.
- [16] SMITH JO, POWELL WW, WHITE DR. Network growth and consolidation: The effects of cohesion and diversity on the biotechnology industry network[J]. Management Science, 2005, Special issue on "Complex Systems across Disciplines": 62-79.
- [17] ALBERT R, JEONG H, BARABASI AL. Error and attack tolerance in complex networks[J]. Nature, 2000(406): 378-382.
- [18] BATAGELJ V, MRVAR A. Program for analysis and visualization of large networks reference manual version 1. 24 [EB/OL]. [2007-6-5]. <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>.
- [19] KAMADA T, KAWAI S. An algorithm for drawing general undirected graphs[J]. Information Processing Letters, 1989, 31(12): 7-15. (责任编辑: 陈晓峰)