

文章编号: 1005-2542(2010)04-0415-05

# 基于社会网络分析的技术创新网络中 创新主体中心性测量研究 ——对波纳西茨中心度的改进

郑登攀, 党兴华

(西安理工大学 经济与管理学院, 西安 710054)

**【摘要】** 研究将社会网络分析中对中心性的测量方法——波纳西茨中心度应用于对技术创新网络中创新主体的中心性测量研究中, 并结合了对创新主体间关系的分析, 提出了耦合中心度的测量方法。案例研究表明, 耦合中心度比波纳西茨中心度更加适合于技术创新网络中创新主体的中心性测量。

**关键词:** 社会网络分析; 技术创新网络; 创新主体; 中心性

**中图分类号:** F 273.11 **文献标识码:** A

## Research on Measurement of Centrality of Technological Innovation Network Based on Social Network Analysis ——Improvement of Bonacich Centrality

ZHENG Deng-pan, DANG Xing-hua

(School of Economic and Management, Xi'an University of Science and Engineering, Xi'an 710054, China)

**【Abstract】** The paper apply measurement methods of centrality of the social network analysis-Bonacich Centrality to the technological innovation network, and combine with relationship of cooperation to propose coupling centrality. Case study have shown that coupling centrality is more suitable for technological innovation network.

**Key words:** social network analysis; technological innovation network; main body; centrality

“中心性”是社会网络分析中的重点之一, 巴乌拉斯<sup>[1]</sup>最先对中心性的形式进行了开创性研究, 验证了如下假设: 行动者越处于网络的中心位置, 其影响力越大。随后的学者利用这个概念解释复杂的社会系统, 包括创新产品的扩散、知识的扩散等<sup>[2]</sup>。关于中心性的量化方面, 社会网络分析也给出了包括点度中心度、中间中心度、接近中心度、特征值中心度和波纳西茨权力中心度等的测量方法, 并且, 目前

对各种测量方法的改进工作仍在继续<sup>[3]</sup>。

技术创新网络也属于一个复杂的社会系统<sup>[4-6]</sup>。那么, 技术创新网络中创新主体(指技术创新网络中的企业、公共研究结构、高校和政府机构等)的中心性如何测量? 对该问题的研究有利于分析技术创新网络中知识扩散的速度、信息流动的路径和创新活动的管理, 以及企业中心性与企业创新行为、创新绩效之间的关系等<sup>[7-10]</sup>

### 1 社会网络分析中的中心性测量方法——波纳西茨中心度

对于技术创新网络而言, 创新主体间的关系已经被多数学者认为是其重要组成部分<sup>[5]</sup>。因此, 本

收稿日期: 2009-10-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70672089; 70972051);

教育部博士点基金资助项目(20050700009)

作者简介: 郑登攀(1983-), 男, 博士生。研究方向为技术创新与知识管理。E-mail: zhengdengpan@sina.com

研究在社会网络分析中对结点的中心性测量基础上,引入了对技术创新网络中创新主体间关系的分析,提出技术创新网络中创新主体的中心性测量公式。由于目前的相关研究大部分建立在波纳西茨中心度的理论基础上,同时,波纳西茨中心度充分考虑了路径长度的影响,因此优于其他测量方法<sup>[11]</sup>。研究以波纳西茨中心度为基础,对技术创新网络中创新主体的中心性进行研究。

首先需要对波纳西茨中心度进行介绍。波纳西茨中心度用网络  $g$  的  $n$  维邻接  $s$  矩阵  $G$  表示网络中的直接连接。根据定义,只有当  $g_{ii} > 0$  时,结点  $i$  和  $j$  在网络  $g$  中是直接相连的,该情况下,  $0 < g_{ij} < 1$  测量的是这个直接连接的权重。令  $G^k$  表示  $G$  的  $k$  次方,系数为  $g_{ij}^k$ ,其中,  $k$  是整数。矩阵  $G^k$  表示网络中的间接连接:  $g_{ij}^k > 0$  测量的是在网络  $g$  中从  $i$  到  $j$  长度为  $k$  的路径的数量。特别的,  $G^0 = I$ 。

假设一个标量  $a \geq 0$  和一个网络  $g$ , 定义矩阵

$$M(g, a) = [I - aG]^{-1} = \sum_{k=0}^{+\infty} a^k G^k$$

其中:参数  $a$  是一个衰减因子;  $a^k$  随着路径长度权重的增加而按比例减小。如果  $M(g, a)$  是一个非负矩阵,它的系数  $m_{ij}(g, a) = \sum_{k=0}^{\infty} a^k g_{ij}^{[k]}$  计算在网络  $g$  中从结点  $i$  开始到结点  $j$  结束的路径数量,长度为  $k$  的路径的权重是  $a^k$ 。令  $\mathbf{1}$  表示  $n$  维矢量。

**定义 1** 考虑一个邻接矩阵为  $n$  维方阵  $G$  的网络  $g$  和一个标量  $a$ , 有  $M(g, a) = [I - aG]^{-1}$  是明确界定的并且是非负的。在网络  $g$  中参数  $a$  的波纳西茨中心度的矢量为  $b(g, a) = [I - aG]^{-1} \cdot \mathbf{1}$ 。

结点  $i$  的波纳西茨中心度是  $b_i(g, a) = \sum_{j=1}^n m_{ij}(g, a)$ , 它计算的是在网络  $g$  中, 所有从结点  $i$  开始的路径的总数量。它是所有的从结点  $i$  到结点  $i$  的回路  $m_{ii}(g, a)$  和从结点  $i$  到另外的其他结点  $j$  ( $j \neq i$ ) 的路径总数的和, 即

$$b_i(g, a) = m_{ii}(g, a) + \sum_{j \neq i} m_{ij}(g, a)$$

根据定义,  $m_{ii}(g, a) \geq 1$ , 所以  $b_i(g, a) \geq 1$ , 当  $a = 0$  时, 两者相等。

## 2 技术创新网络中创新主体关系

在技术创新网络中, 创新主体支付的相互依赖性嵌入在创新主体之间连接的网络结构中的。如果将创新主体之间的关系影响分解为异质性、替代性和互补性, 并对其进行准确测量时, 有利于得到该博弈过程的内部均衡。其中, 异质性反映出该创新主

体的支付函数的凹性, 即: 以创新主体的创新努力水平为自变量的支付函数是凹状; 替代性反映的是创新主体之间创新努力水平的替代性, 即: 创新主体的创新努力水平增加会导致其他创新主体的支付水平的降低; 互补性反映的是创新主体之间创新努力水平的互补性, 即: 创新主体的创新努力水平增加会导致其他创新主体的支付水平的增加<sup>[7]</sup>。

考虑技术创新网络中每个创新主体  $i = 1, 2, \dots, n$  都会选择一个努力水平  $x_i \geq 0$ , 并且有一个双线性函数的支付,

$$u_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = \alpha_i x_i + \frac{1}{2} \sigma_{ii} x_i^2 + \sum_{j \neq i} \sigma_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

该函数是严格的凹函数, 即:  $\partial^2 u_i / \partial x_i^2 = \sigma_{ii} < 0$ 。令  $\alpha_i = \bar{\alpha} > 0$ ,  $\sigma_{ii} = \sigma$ , 其中,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。如果只考虑创新主体自己努力水平的影响, 那么创新主体们都拥有相同的支付。如果考虑创新主体之间的相互影响, 在式(1)中通过交叉导数  $\partial u_i / \partial x_i \partial x_j = \sigma_{ij}$ ,  $i \neq j$  表示这种相互影响, 当  $\sigma_{ij} > 0$  时, 则表明创新主体  $i$  与创新主体  $j$  之间的努力水平是互补的, 即: 创新主体  $j$  的努力水平增加会导致创新主体  $i$  的支付增加, 相反, 当  $\sigma_{ij} < 0$  时, 则表明创新主体  $i$  与创新主体  $j$  之间的努力水平是替代的, 即: 创新主体  $j$  的努力水平增加会导致创新主体  $i$  的支付降低。

令  $\underline{\sigma} = \min\{\sigma_{ij} \mid i \neq j\}$  和  $\bar{\sigma} = \max\{\sigma_{ij} \mid i \neq j\}$ 。假设  $\sigma < \min\{\underline{\sigma}, 0\}$ 。当  $\underline{\sigma} \geq 0$  时, 表明创新主体自己的努力水平是凹性的。当  $\underline{\sigma} < 0$  时, 表明创新主体自己的边际回报小于相互影响的边际回报。令  $\gamma_{ij} = \min\{\sigma_{ij}, 0\}$  表示测量的是从  $i$  的角度去看创新主体  $(i, j)$  之间的努力水平的替代性大小。令  $g_{ij} = \max\{\sigma_{ij}, 0\}$  表示测量的是从  $i$  的角度去看创新主体  $(i, j)$  之间的努力水平的互补性大小。令  $\beta = -\min\{\underline{\sigma}, 0\} \geq 0$ 。令  $\lambda = \bar{\sigma} + \gamma \geq 0$ , 这里假设  $\lambda > 0$ , 因为当且仅当  $\bar{\sigma} = \underline{\sigma}$  时,  $\lambda = 0$  才成立, 并且与  $\bar{\sigma}$  和  $\underline{\sigma}$  值的变动无关。

令矩阵  $G = [g_{ij}]$  是一个主对角线为 0 的非负方阵, 表示的是创新主体之间的努力水平的互补性网络  $g$  的邻接矩阵。当  $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$  时,  $G$  是对称的, 网络  $g$  是无向的。当  $\sigma_{ij} \in \{\underline{\sigma}, \bar{\sigma}\}$  ( $i \neq j$ ,  $\underline{\sigma} \leq 0$ ),  $G$  是一个对称的  $(0, 1)$  矩阵,  $g$  是一个无向的、无权重的。同样, 令矩阵  $\gamma = [\gamma_{ij}]$  表示创新主体之间的努力水平的替代性网络的邻接矩阵, 它是一个主对角线为 0 的负数方阵。

如果  $I$  表示  $n \times n$  的单位方阵, 可以容易得到:

$$\Sigma = -\mathbf{1} - \beta\gamma + \lambda G \quad (2)$$

式中,  $\Sigma = [\sigma_{ij}]$  表示各创新主体之间的相互影响。

如果  $i \neq j$ , 可以得到  $\sigma_{ij} = -\beta\gamma_{ij} + \lambda g_{ij}$ ; 如果  $i = j$ , 可以得到  $\sigma_{ij} = -\sigma$ 。

这样, 技术创新网络的创新主体之间的关系可以分解为异质性、替代性和互补性。异质性反映了(或部分反映了)支付对努力水平的凹性— $\sigma I$ 。替代性符合所有的成对创新主体之间的一般努力水平的替代性— $\beta\gamma$ 。互补性符合所有的成对创新主体之间的努力水平的互补性  $\lambda G$ , 根据式(2), 可以对式(1)进行变换:

$$u_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = \alpha x_i - \frac{1}{2} \alpha x_i^2 - \beta \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} x_i x_j + \lambda \sum_{j=1}^n g_{ij} x_i x_j \quad (i = 1, 2, \dots, n.) \quad (3)$$

可以令  $\lambda^* = \lambda/\alpha$ , 表示互补性与异质性的对比。

### 3 技术创新网络中创新主体的耦合中心度——对波纳西茨中心度的改进

技术创新网络中创新主体间的相互影响矩阵  $\Sigma$  可以按照式(2)进行分解。 $G$  的最大的特征值  $\mu_1(G)$  是可以得到的, 并且只要  $\sigma_{ij} \neq 0$ , 则  $\mu_1(G) > 0$  ( $j \neq i$ )。对于所有的  $y \in R^n$ ,  $y = y_1 + y_2 + \dots + y_n$  是它的坐标总和。令  $\lambda^* = \lambda/\sigma$ 。

**定理 1** 矩阵  $[\sigma I - \lambda G]^{-1}$  可以很好地被界定, 并且是非负的, 当且仅当  $\sigma > \lambda \mu_1(G)$  时, 博弈  $\Sigma$  具有惟一的均衡  $x^*(\Sigma)$ , 且是内部解。可以表示为:

$$x^*(\Sigma) = \frac{\alpha}{\sigma + \beta \gamma b(g, \lambda^*)} b(g, \lambda^*) \quad (4)$$

证明 Debreu 等<sup>[13]</sup> 的定理 III\* 给出了  $[\sigma I - \lambda G]^{-1}$  的存在性和非负性。在纯策略  $x^* \in R$  中的一个内部均衡是  $\frac{\partial u_i}{\partial x_i(x^*)} = 0$  和  $x_i^* > 0$ , 其中,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。如果这种均衡存在, 那么可以解出:

$$-\sum \circ x = [\sigma I + \beta\gamma - \lambda G] \circ x = \alpha \mathbf{1} \quad (5)$$

矩阵  $\sigma I + \beta\gamma - \lambda G$  是一个非奇异矩阵。式(5)在  $R^+$  中具有惟一的几何解, 可以用  $x^*$  表示。采用  $x^* = x^* \circ \mathbf{1}$ , 那么式(5)等价于  $[I - \lambda^* G] \circ x^* = (\alpha - \beta\gamma x^*) \mathbf{1}$ 。通过变换矩阵, 可以通过一般的代数运算得到  $\sigma x^* = (\alpha - \beta\gamma x^*) b(g, \lambda^*)$  和式(4)。假设对所有的  $i$  有  $\alpha > 0$  和  $b_i(g, \lambda^*) \geq 1$ , 其中,  $x^*$  是内部的。这也表明  $x^*$  是惟一的内部均衡。证毕

假设  $\Sigma$  是非对称的,  $\sigma_{ij} \in \{\underline{\sigma}, \bar{\sigma}\}$ , 其中,  $i \neq j$ ,  $\underline{\sigma} \leq 0$ 。式(2)中对  $\Sigma$  的分解产生了一个  $(0, 1)$  邻接矩阵  $G$  和一个有向网络  $g$ 。假设对于所有的  $v \in \{\underline{\sigma}, \bar{\sigma}\}$ ,  $\sigma_{ij} = \sigma_{ij'} = v$  对至少两对不同的创新主体  $(i, j)$  和  $(i', j')$  是成立的。这可以保障任何一个创新主体的退

出不会改变在分解式(2)中得到的  $\Sigma$  中的  $\sigma, \beta$  和  $\lambda$ 。用  $G^{-i}$  (对应于  $\Sigma^{-i}$ ), 表示新的邻接矩阵(对应于交叉影响的矩阵), 通过令  $G$  (对应于  $\Sigma$ ) 中所有的第  $i$  行和列的系数为 0, 可以得到网络  $g^{-i}$ 。

中心性测量公式需要能够保证中心度最大的创新主体便是能够最大化降低整体均衡水平的创新主体。因此, 现在的问题在于通过从整体中挑选出最合适的创新主体来最有效的降低  $x^*(\Sigma)$  (使得  $x^*(\Sigma)$  减少的幅度最大)。正式的表达是需要解决

$$\max \{x^*(\Sigma) - x^*(\Sigma^{-i}) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$$

等价于:

$$\min \{x^*(\Sigma^{-i}) \mid i = 1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

这是一个有限的优化问题, 至少存在一个最优解。令  $i^*$  表示式(6)的最优解。将  $i^*$  称为核心主体。将  $i^*$  从最先的网络  $g$  中剔除将会导致整体均衡水平的降低幅度最大。考虑到式(4)所提到的个体对整体均衡水平的影响与个体的结构中心度成正比关系, 可知  $i^*$  的几何特征是其结构中心度最大。但是这种中心度的具体表达形式还未确定。

可以很容易的通过解式(6), 得到当取中心性的测量公式为

$$c_i(g, a) = a \left[ b_i(g, \lambda^*) + b_i(g, \lambda^*) \sum_{j \neq i} \frac{m_{ij}(g, a)}{m_{ii}(g, a)} \right]$$

时, 能够保证中心性最大的创新主体便是能够最大化降低整体均衡水平的创新主体。所以, 如果考虑一个具有邻接矩阵  $G$  和一个标量  $a$  的网络  $g$ , 则可以得到  $M(g, a) = [I - aG]^{-1}$ , 且是非负的。那么, 具有参数  $a$  的创新主体  $i$  在网络  $g$  中的中心性是:

$$c_i(g, a) = a \left[ b_i(g, \lambda^*) + b_i(g, \lambda^*) \sum_{j \neq i} \frac{m_{ij}(g, a)}{m_{ii}(g, a)} \right] \quad (7)$$

式中:  $b_i(g, \lambda^*)$  表示创新主体  $i$  的波纳西茨中心度;  $b_i(g, \lambda^*) \sum_{j \neq i} \frac{m_{ij}(g, a)}{m_{ii}(g, a)}$  表示其他创新主体对  $i$  的波纳西茨中心度的贡献;  $a$  表示事先设定的衰减因子。

可以将式(7)中的中心性称为耦合中心度(因为技术创新网络中创新主体间的关系简称为耦合关系), 如果对耦合中心度再进行化简, 可得到:

$$c_i(g, a) = a \left[ b_i(g, \lambda^*) + b_i(g, \lambda^*) \sum_{j \neq i} \frac{m_{ij}(g, a)}{m_{ii}(g, a)} \right] = ab_i(g, \lambda^*) \left[ 1 + \sum_{j \neq i} \frac{m_{ij}(g, a)}{m_{ii}(g, a)} \right] = \frac{ab_i(g, a)^2}{m_{ii}(g, a)} \quad (8)$$

在实际应用过程中, 耦合中心度的测量首先需要应用社会网络分析软件(如: Ucinet 等软件), 绘制出能够代表整个技术创新网络的网络图, 然后采用软件计算各结点的波纳西茨中心度和其自我循环

的回路的路径数,由此得到结点的耦合中心度。至于其中的衰减因子 $a$ ,可以咨询相关的专家确定。

#### 4 技术创新网络中创新主体的耦合中心度测量的案例

为了便于比较耦合中心度与波纳西茨中心度,研究将分别采用耦合中心度与波纳西茨中心度来计算现实技术创新网络中中心性最大的创新主体,然后,将结果与行业专家的意见相比较,以此判断哪种方法更加符合现实。

现有研究认为生物制药业、电子信息业和高科技制造业等中会存在较多的技术创新网络<sup>[13]</sup>。这些行业由于行业本身的特征以及企业的技术能力和资源的限制,或由于时间紧迫、创新成本的上升和创新风险的上升,企业必将加强企业间的连接来促使其技术创新更加有效。本研究即从这些行业中选择技术创新网络。为了确保网络选择的合理,尽可能选择电子信息产业、生物产业等产业,最终选择了西安高新技术产业开发区的生物制药产业。针对选取的技术创新网络及其结点,征询行业内人士的意见,课题组随后召开了专家论证会,确保研究样本的效度。与会的 5 位专家中,3 人为技术创新领域的博士生导师,1 人为省科技厅的处长,1 人为某技术创新型企业的副总经理兼行业协会副会长。5 位专家对本文设计的技术创新网络在现实中的表现形式,以及应用此方法进行实证研究抽样的有效性,均给出了肯定意见。

本研究中采取提名诠释法,收集西安高新区生物制药技术创新网络数据。由于本研究还涉及 2 个集团子公司与外包企业的不同层次,因而将滚雪球抽样与分层抽样结合。衡量关系的指标在 Granovetter(1973)、Burt(1985)的一般社会调查模式的基础上,根据技术创新网络内企业关系的特点,共采用企业间创新合作交往时间的长短、亲密程度、创新合作互动的频率、互惠内容、创新活动的依赖程度、创新企业间的信任程度、空间距离等 7 个指标,后 3 个指标为增加的指标,互惠内容涉及交易关系、咨询关系和情感关系。

在抽样方面,由于西安高新区生物制药技术创新网络中的企业或企业集团总体分为 3 个层次:① 企业 A 和 B;② C、D、E、F 等集团;③ 其他大量的小企业。本研究选取第 1 层次的 A 和第 2 层次的 C 为研究对象。而后滚雪球调查每个企业与其主要的 3~6 个供应商、3~6 个销售商或直接客户,1~6 个银行等金融机构,1~6 个研究机构、政府部门及其

他公共机构,这些企业或结构都与研究对象有某种合作创新活动(包括涉及合作技术创新的技术交流、资金支持、专利引用等)。共回收有效问卷 45 份,通过提名诠释法调查的供应商 145 个,经销商或客户 85 个,银行等金融机构 21 个,研究机构、政府机构及公共机构 22 个,共调查的网络结点数为 318 个。

(1)网络的构成。在调查的西安高新区生物制药技术创新网络中,经济交易关系构成了显性的网络关系。而另一方面,结点之间的社会关系也是构成技术创新网络的一大层面,需要对其解析。本文采用了企业间创新合作交往时间的长短、亲密程度、创新合作互动的频率、互惠内容、创新活动的依赖程度、创新企业间的信任程度、空间距离等 7 个指标。表 1 反映了这些指标的调查情况:① 合作时间都普遍较长。② 信任、熟悉、依赖程度都很高。与其他类型相比,供应商的数值较低,反映出同类供应企业数量多,企业的可选择性强。③ 交流次数频繁,尤其是供销关系的交流。④ 在共享内容中,咨询和情感关系在经济交易中存在。⑤ 空间接近的特征非常突出,但销售具有非本地化的特点。

表 1 问卷调查中主要指标的频次(%)

调查指标	供应商	销售商 与客户	银行	研究结构与 公共组织
合作创新时间 5 年以上	42.2	46.2	50.6	60.7
合作创新中信任对方	91.8	88.5	97.7	78.5
熟悉对方	51.7	60.2	64.3	41.5
创新活动依赖对方	51.2	74.5	79.6	80.1
合作创新交流次数 1 周 1 次以上	75.8	78.3	45.9	41.7
知识与技术	36.5	26.3	16.2	17.2
共享的内容 管理与运营	16.7	18.5	21.5	—
其他	35.2	41.5	30.8	28.5
都在西安市	86.7	26.8	100	91.7

注:表中所涉及的供应商、销售商与客户、银行和研究结构与公共组织均与研究对象存在合作技术创新活动的企业或机构

(2)结点的网络地位。每个网络的结点企业具有耦合中心度,结点中心性越高,说明该结点在网络中的地位越高,权力越大。同时,为了比较耦合中心度与波纳西茨中心度,课题组还联系了 10 位专家,让其在给定的技术创新网络中选择核心主体,然后通过耦合中心度和波纳西茨中心度分别识别核心主体,比较哪种识别结果与专家意见一致。

课题组采用社会网络分析软件 Ucinet6 计算结点的波纳西茨中心度和其自我循环的回路的路径

数, 由此得到结点的耦合中心度。对于其中的衰减因子  $a$ , 在征求 5 位技术创新领域教授的意见的基础上选择了 2 个值, 即:  $a=0.1$  和  $a=0.2$ , 分别计算当衰减因子由 0.1 增大到 0.2 时, 技术创新网络中具有最大耦合中心度的企业。对于研究对象企业的选择问题, 首先经过课题组讨论初步确认可能为核心主体是企业 A 和 C, 企业 C 具有最高的直接连接, 但是企业 A 具有广泛的间接连接。然后课题组又联系到 10 位专家, 其中, 4 人为技术创新领域的博士生导师, 2 人为陕西省西安市高新区管委会主任、副主任, 2 人为陕西省西安市高新区管委会企业联合会主任、副主任, 2 人为陕西省西安市高新区知名企业主管。10 位专家根据课题组提出的核心主体的定义给出了各自的意见, 其中均认为是企业 A, 由此, 可以选定企业 A 为核心主体。

下面, 研究将分别计算结点企业 A 和 C 的波纳西茨中心度和耦合中心度。表 2 给出了对于  $a$  的 2 个不同值, 结点企业 A 和 C 的波纳西茨中心度和耦合中心度。星号表示最高的列值。当  $a$  较小时, 计算得到企业 C 具有最高的波纳西茨中心度和耦合中心度, 所以 C 是核心主体。但是, 当  $a$  较大时, 计算得到企业 C 具有最高的波纳西茨中心度, 而企业 A 却具有最大的耦合中心度。由此可见, 随着衰减因子的增大, 间接连接会逐渐产生影响, 剔除企业 A 将会对网络整体产出产生最大的直接和间接影响。这与专家们的意见是吻合的。由此可以看出耦合中心度测量方法比波纳西茨中心度测量方法更加符合现实。

表 2 西安高新区生物制药技术创新网络中结点企业 A 和 C 中心性

创新主体	$a=0.1$		$a=0.2$	
	$b_i$	$c_i$	$b_i$	$c_i$
A	2.13	2.78	7.71	52.44 *
C	3.47 *	4.51 *	10.75 *	36.41

## 5 结 论

社会网络分析对中心性的测量方法进行了大量研究, 技术创新网络也属于一种复杂社会系统, 但是创新主体间关系是技术创新网络的重要组成部分, 因此, 本研究在社会网络分析对中心性测量的基础上, 引入了创新主体间关系分析, 提出了技术创新网络中的中心性测量方法。这既是对已有的社会网络分析中的中心性测量方法的应用, 也是结合技术创新网络的特征后对其的改进。具体而言, 耦合中心

度对波纳西茨中心度的改进主要体现在以下方面:

(1) 从耦合中心度的测量视角方面分析。耦合中心度测量公式并非只考虑技术创新网络中的个体, 而是来源于对整个网络创新主体的集体考虑, 即: 耦合中心度在波纳西茨中心度仅考虑个体结构中心性的基础上, 引入了创新主体之间的关系。

(2) 从耦合中心度的测量公式分析。波纳西茨虽然也注意到: 对某结点的中心性的测量不能脱离所有其他与之相关的结点的中心性。如果一个结点与各个中心点相连, 该点的中心性也会提高, 相应地, 它也提高与自己相连的其他点的中心性。因此, 在计算中心性时包含着内在的循环, 各点的中心性之间是相关联的。但是波纳西茨并没有将这种思想体现在其波纳西茨中心度测量公式中, 而由耦合中心度的测度公式可以得到耦合中心度是创新主体  $i$  的波纳西茨中心度和其他创新主体对  $i$  的波纳西茨中心度的贡献之和, 再乘以一个衰减因子。因此, 耦合中心度是对波纳西茨本人关于结点间中心性是相联系的观点的实现。

## 参考文献:

[ 1 ] Freeman L C. A set of measures of centrality based on betweenness[ J] . Sociometry, 1977, 40(1): 215-239.

[ 2 ] 刘 军. 社会网络分析导论[ M] . 北京: 社会科学文献出版社, 2004: 134-137.

[ 3 ] Bonacich P. Some unique properties of eigenvector centrality[ J] . Social Networks, 2007, 29(4): 555-564.

[ 4 ] 王众托. 知识系统工程[ M] . 北京: 科学出版社, 2004.

[ 5 ] Dhanaraj C, Parkhe A. Orchestrating innovation networks[ J] . Academy of Management Review, 2006 31(3): 659-669.

[ 6 ] Rogerio C, Fabio M G, Gilnei L M. Innovation networks: From technological development to business model reconfiguration[ J] . Technovation, 2007, 27(8): 426-432.

[ 7 ] Gay B Bernard D. Innovation and network structural dynamics: Study of the alliance network of a major sector of the biotechnology industry[ J] . Research Policy, 2005 34(10): 1457-1475.

[ 8 ] Akbar Z, Geoffrey G Bell. Benefiting from network position: firm capabilities, structural holes, and performance[ J] . Strategic Management Journal, 2005, 26(9): 809-825.

(下转第 427 页)

and feature selection[J]. Journal of Machine Learning Research, 2003, 3: 1157-1182.

[ 25] 胡清华, 于达仁, 谢宗霞. 基于邻域粒化和粗糙逼近的数值属性约简[J]. 软件学报, 2008, 19(3): 640-649.

[ 26] Hu Q, Yu D, Xie Z, Li X. EROS: Ensemble rough subspaces[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(12), 3728-3739.

(上接第 414 页)

[ 6] Deng S, Hwang Y. Solution of inverse heat conduction problems using Kalman filter-enhanced Bayesian back propagation neural network data fusion[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2007 (6): 2089-2100.

[ 7] Brian R Hunt, Eric J. Kostelich and Istvan Szunyogh. Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter[J]. Physica D: Nonlinear Phenomena, 2007(6): 112-126.

[ 8] Brendan M Quine. A derivative-free implementation of the extended Kalman filter[J]. Automatica, 2006 (11): 1927-1934.

[ 9] Abdüsselam Altunkaynak, Mehmet Öger, Sevinç Sirdi et al. Artificial neural network-Kalman filtering approach for solar irradiation estimation[J]. 2006 (9): 1529-1541.

[ 10] Michael Dueker. Kalman filtering with truncated normal state variables for Bayesian estimation of macro-economic models[J]. Economics Letters, 2006(10): 58-62.

[ 11] Hongwei Bian, Zhihua Jin, Weifeng Tian. IAE-adaptive Kalman filter for INS/GPS integrated navigation system[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2006(9): 502-508.

[ 12] Xiaoyan Xu, Yu Wang. Financial failure prediction using efficiency as a predictor[J]. Expert System with Applications, 2009(1): 366-373.

[ 13] George Mavrotas, Dmitri Vinogradov. Financial sector structure and financial crisis burden[J]. Journal of Financial Stability, 2007(6): 45-50.

[ 14] Zavgren C. The prediction of corporate failure: The state of the art[J]. Journal of Accounting Literature, 2007(8): 434-440.

(上接第 419 页)

[ 9] Cheng M, Kuen S Y. How industry network and hierarchy positions influence innovation in global semiconductor industry[C] //Biu G, Erich B, Greg W, et al. Academy of Management Best Conference. Atlanta: Press of UM UC, 2006: 174-195.

[ 10] Robin Cowan. Nicolas jonard. knowledge portfolios and the organization of innovation networks[J]. Academy of Management Review, 2009, 34(2): 320-342.

[ 11] Bonacich P. Power and centrality: A family of measures[J]. American Journal of Sociology, 1987, 92(5): 1170-1182.

[ 12] Debreu G, Herstein I N. Nonnegative Square Matrices[J]. Econometrica, 1953, 21(5): 597-607.

[ 13] Owen S, Powell W W. Knowledge networks as channels and conduits: The effects of spillovers in the Boston biotechnology community[J]. Organization Science, 2004, 15(1): 5-21.

更正

2010 年 3 期论文《多阶段均值-平均绝对偏差投资组合的离散近似迭代法》的作者张鹏应为副教授。