

# 基于协同效应的知识创新团队伙伴选择方法

冯 博<sup>1</sup> 樊治平<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学工商管理学院; 2. 东北大学工商管理学院)

**摘要:** 在知识创新团队的伙伴选择问题中着重考虑了伙伴间的协同效应信息。首先,分析了伙伴之间的协同关系与协同效应,描述了考虑多个协同效应评价指标的知识创新团队伙伴选择问题;然后,建立了团队伙伴选择的数学模型,该模型是一个0-1二次整数规划问题,为了求解该问题,开发了一种GRASP启发式算法;最后,通过一个实例分析说明了所提出方法的可行性和实际应用价值。

**关键词:** 知识创新团队; 伙伴选择; 协同效应; 0-1二次整数规划; 启发式算法

**中图分类号:** C93;F270 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-884X(2012)02-0258-04

## A Partner Selection Method for Knowledge Creation Team Based on Collaborative Effect

FENG Bo<sup>1</sup> FANG Zhiping<sup>2</sup>

(1. South China University of Technology, Guangzhou, China;

2. Northeastern University, Shenyang, China)

**Abstract:** Collaborative information is emphasized in the problem of partner selection of knowledge creation team (KC term). Firstly, the collaboration relationship and collaborative effect between partners is analyzed, and the multiple criteria decision making problem of partner selection for KC team is described. Based on that, the mathematical model for the problem is built which is a 0-1 quadratic integer programming problem and a GRASP heuristic is developed to solve the problem. Finally, an example is introduced to illustrate the feasibility and applicable value of the proposed method.

**Key words:** knowledge creation team; partner selection; collaborative effect; zero-one quadratic integer programming; heuristic algorithm

随着全球经济一体化趋势和竞争环境不确定性的加剧,企业在新产品研发、创新流程改进、技术研发和技术商业化等方面,可通过协同知识创新实现知识与能力的互补,降低知识创新的风险与成本<sup>[1,2]</sup>。面向协同知识创新所构建的新产品研发团队、技术创新团队、多学科工程团队、协同产品商务团队等均可称为知识创新团队。伙伴选择是知识创新团队形成阶段的重要决策问题,如何选择满意的伙伴对于面向合作愿景目标,实现知识互补、高效配合与相互激发,最大化提升知识创新团队的协同绩效,具有重要的意义。目前,有关伙伴选择问题的研究,主要涉及虚拟企业<sup>[3]</sup>、动态联盟<sup>[4]</sup>、国际联合投资<sup>[5]</sup>、制造伙伴选择<sup>[6]</sup>和供应商选择<sup>[7]</sup>等若干方面,在现有伙伴选择模型或方法中,大多考

虑的决策信息是候选伙伴的个体信息。例如,考虑在一些指标下每个候选伙伴的优劣程度或绩效的主观评价信息,或者考虑候选伙伴的成本、价格、运输距离、交付时间、批次等生产制造信息,所采用的伙伴选择方法主要包括多属性决策方法<sup>[3,4]</sup>、人工智能技术<sup>[6]</sup>、目标规划方法<sup>[5,7]</sup>等。需要指出的是,现有伙伴选择方法大多没有考虑伙伴间的协同关系及合作信息,然而,考虑伙伴间的历史合作情况对团队伙伴的选择则是非常重要的<sup>[8]</sup>。本研究着重考虑基于协同效应信息的知识创新团队伙伴选择问题,构建该问题的数学模型,通过对所建模型特点的分析,基于文献<sup>[9]</sup>的工作,开发了一种GRASP启发式算法对模型进行求解。

收稿日期: 2010-05-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70901027);广东省普通高校人文社会科学研究基地资助重大项目

### 1 问题的描述

知识创新团队是一种任务团队,团队伙伴承诺于一致的目标,通过协作的方式解决某一知识创新任务或解决某一类知识问题,相互间形成知识互补和相互负责的工作关系<sup>[10]</sup>,并常以项目运作的方式进行管理。随着现代信息技术与通讯技术的迅猛发展,知识创新团队通常借助网络平台采取计算机协作的方式进行知识创新,团队伙伴可以跨越不同的组织和地域,组织形式也逐渐呈现虚拟化。另外,知识创新中存在着高风险性和不确定性,快速而有效的知识创新依赖于伙伴之间的优势互补、紧密合作和高效配合,因而伙伴间的协同情况对知识创新的成功至关重要,进而需要在团队伙伴选择时,对伙伴间的协同效应信息做出考虑。

在知识创新团队伙伴选择问题中,假设候选伙伴集  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ , 其中,  $P_i$  表示第  $i$  个候选伙伴。候选伙伴在过去的合作中,存在正式的和非正式的社会关系,前者一般是指基于工作任务的协作关系;后者主要包括伙伴间的沟通与交流、互惠、信息与知识共享等关系,这种伙伴间的正式及非正式的协同关系形成一种社会网络关系(见图 1)。为了使问题描述具有一般性,假设图 1 中任意 2 个伙伴之间都存在协同关系。

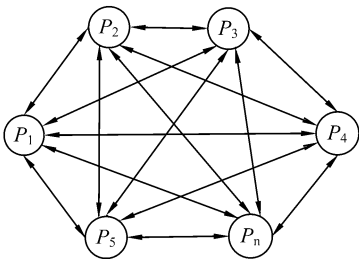


图 1 伙伴间的社会网络关系

图 1 所示的社会网络关系,可以用如下协同关系矩阵(可达矩阵) $S$  进行描述:

$$S = [s_{ij}]_{n \times n} = \begin{matrix} & P_1 & P_2 & \dots & P_n \\ \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

协同关系矩阵  $S$  中,  $s_{ij}$  表示伙伴  $P_i$  与  $P_j$  间的协同关系,并规定:  $s_{ij} = 1 (i \neq j)$  表示伙伴  $P_i$  和伙伴  $P_j$  之间存在协同关系;  $s_{ij} = 0$  表示伙伴  $P_i$  与其自身不存在协同关系。

设候选伙伴间的协同效应评价指标集为  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ , 其中  $I_k$  表示第  $k$  个效应指

标。需要指出的是,伙伴间的协同效应评价指标可以是伙伴之间的历史合作信息。例如,伙伴间的问题求解效率、正式及非正式的信息交流情况、合作发表论文的情况、合作完成 R&D 项目的情况等多种信息形式。依据协同关系矩阵  $S$ , 考虑协同效用评价指标  $I_k$  下伙伴间产生的历史合作信息,可用如下协同效用矩阵  $A^k$  来描述:

$$A^k = [a_{ij}^k]_{n \times n} = \begin{matrix} & P_1 & P_2 & \dots & P_n \\ \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11}^k & a_{12}^k & \dots & a_{1n}^k \\ a_{21}^k & a_{22}^k & \dots & a_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^k & a_{n2}^k & \dots & a_{nm}^k \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

协同效用矩阵  $A^k$  中,  $a_{ij}^k$  表示在指标  $I_k$  下伙伴  $P_i$  配合伙伴  $P_j$  的协同效用信息。不失一般性,这里假定  $a_{ij}^k \geq 0$ , 通常  $a_{ij}^k \neq a_{ji}^k$ 。其中,  $a_{ij}^k = 0$  表示伙伴  $P_i$  配合  $P_j$  没产生协同效用,而  $a_{ij}^k$  值越大表示伙伴  $P_i$  配合  $P_j$  的协同效用越好;  $a_{ij}^k = \text{“-”}$  表示不考虑伙伴  $P_i$  与自身之间的协同效用。

为便于计算,将  $A^k = [a_{ij}^k]_{n \times n}$  规范化为  $\hat{A}^k = [\hat{a}_{ij}^k]_{n \times n}$ , 其中

$$\hat{a}_{ij}^k = a_{ij}^k / \max_{i,j} \{a_{ij}^k\}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j; k = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

显然,  $0 \leq \hat{a}_{ij}^k \leq 1, (i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j; k = 1, 2, \dots, m)$ 。

设协同效用评价指标的权重向量为  $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ , 其中  $\omega_k$  表示指标  $I_k$  的权重,满足  $\sum_{k=1}^m \omega_k = 1, 0 \leq \omega_k \leq 1 (k = 1, 2, \dots, m)$ 。依据协同效用矩阵  $A^k$  和指标权重  $\omega_k$ , 采用加权法则,可计算综合协同效应矩阵  $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ , 其中,  $a_{ij}$  的计算公式如下:

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^m \omega_k \hat{a}_{ij}^k, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j) \quad (4)$$

协同效用矩阵  $A$  中,  $a_{ij}$  为考虑各个协同评价指标的伙伴  $P_i$  配合伙伴  $P_j$  的总体协同效用信息。

基于前文论述,本研究要考虑解决的问题是:依据候选伙伴间的总体协同效用矩阵  $A$ , 通过某种方法,从  $n$  个候选伙伴中选择  $q (2 \leq q \leq n)$  个伙伴构建一个知识创新团队,使构建的团队的整体协同效用最大。

### 2 伙伴选择模型与求解

设伙伴选择问题的决策向量  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ , 其中,

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{伙伴 } P_i \text{ 被选中,} \\ 0, & \text{否则,} \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, n)。 \quad (5)$$

在上述分析与问题描述的基础上,建立如下的基于协同效应的知识创新团队伙伴选择的数学模型(OP1):

$$\max Z = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n a_{ij} x_i x_j, \quad (6)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^n x_i = q, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (7)$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad (i = 1, 2, \dots, n)。 \quad (8)$$

可以看出,数学模型(OP1)是一个离散的凸二次规划问题,其可行域是一个有界凸集。由于目标函数  $Z$  是有上界的,上界值可以考虑是  $\theta q(q-1)$ ,  $\theta = \max\{a_{ij}\}$ , 所以数学模型(OP1)的最优解一定存在。根据文献[11]的研究,数学模型(OP1)属于 NP-hard 问题。针对数学模型(OP1)的求解,当  $n$  和  $q$  的规模较小时,可通过穷举法或分枝定界法求解;当  $n$  和  $q$  的规模较大时(一般为  $n > q \geq 50$ ),该模型的解空间为  $n^n$  的函数,因而模型的空间复杂性将随  $n$  和  $q$  的增加成指数级别增大,此时通常考虑采用启发式算法。为此,本研究在文献[9]的基础上,开发了一种 GRASP 启发式算法来进行问题的求解,该算法包括 2 个阶段:①通过 GRASP 技术生成优良的初始解;②进行邻域搜索逼近最优解。这 2 个阶段都是通过反复迭代完成的。下面简要阐述该算法的计算步骤。

**步骤 1** 建立初始解集  $G_0 = \phi$ , 第  $(s-1)$  步产生的部分初始解构成的集合  $G_{s-1}$  共包含  $(s-1)$  个元素,  $s = 1, 2, \dots, q$ 。对于  $(s-1)$  迭代,  $x_i$  的下标构成的集合  $N = \{i | i = 1, 2, \dots, n\}$  相应地被分为 3 个集合,即  $G_{s-1}$ 、 $\{i\}$  和  $D_s$ 。 $\{i\}$  为选定的元素  $i$  构成的集合,  $D_s$  为剩余的元素构成的集合,且有  $N = G_{s-1} \cup \{i\} \cup D_s$ 。

**步骤 2** 对于元素  $i \in \overline{G_{s-1}}$  (部分初始解集的补集), 计算其对目标函数的边际贡献  $\Delta z(i)$ , 把对应  $\max\{\Delta z(i)\}$  的元素  $i^*$  置入集合  $G_{s-1}$  中, 得集合  $G_s$ 。 $\Delta z(i)$  的计算公式如下:

$$\Delta z(i) = (1 - \alpha)\Delta z_L(i) + \alpha\Delta z_U(i), \quad (9)$$

$$\Delta z_U(i) = \sum_{j \in G_{s-1}} a_{ij} + \sum_{1 \leq r \leq q-s} a_{ij}^r, \quad (10)$$

$$\Delta z_L(i) = \sum_{j \in G_{s-1}} a_{ij} + \sum_{m=q+1 \leq r \leq n-s} a_{ij}^r. \quad (11)$$

式中,  $\Delta z_U(i)$  和  $\Delta z_L(i)$  分别表示元素  $i$  对目标函数边际贡献的上界和下界;  $a_{ij}^r$  是集合  $\{a_{ij} | j \in D_s\}$  中第  $r$  大的元素;  $\alpha$  是一个符合正态分布的随机数, 且  $\alpha \in (0, 1)$ 。

**步骤 3** 判断初始解集  $G_s$  中包含的元素个

数是否为  $q$ , 若等于  $q$ , 得到初始解集  $G_q$ , 并转到下一步; 否则  $s = s + 1$ , 转到步骤 2。

**步骤 4** 对于元素  $i \in G_q$  和  $j \in \overline{G_q}$  (初始解集的补集), 计算元素  $i$  与  $j$  对目标函数贡献的差值  $\Delta z(i, j) = \sum_{i \in D_s} (h_{ji} - h_{ii})$ 。

**步骤 5** 若  $\Delta z(i, j) \geq 0$ , 用  $j$  替换  $i$ , 得到新的解集  $G_q$ , 转到步骤 4; 当对于所有  $i \in G_q$  和  $j \in \overline{G_q}$  (初始解集的补集),  $\Delta z(i, j) < 0$  时, 终止迭代, 转到下一步。

**步骤 6** 生成近似最优解  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^T$ , 当  $i \in G_q, x_i^* = 1$ ; 否则,  $x_i^* = 0$ , 终止。

### 3 算例分析

某大学“轧制与连轧技术重点实验室”针对“泡沫铝的开发与应用”重点研究项目, 构建项目合作研发团队。通过对任务性质和目标的分析, 可考虑的候选伙伴有 8 人(即  $P_1, P_2, \dots, P_8$ ), 现计划从中选出 4 人组成一个科研团队。组织者以 8 位候选伙伴在以往合作中的综合协同效应作为团队伙伴选择的决策依据, 并将合作发表论文的数量和级别、合作完成科研项目的数量, 以及级别的综合情况作为对伙伴间协同效应的评价指标。合作发表论文与合作完成科研项目的情况都是根据客观数据获得, 论文发表的杂志和科研项目都分为 A、B、C 3 个级别。组织者给出论文指标权重为 0.6, 科研项目指标权重为 0.4, 并将论文发表和科研项目的级别作该级别下发表论文或完成科研项目的 2 级指标权重, 级别与权重的对应关系为 A-0.5、B-0.3、C-0.2。候选伙伴合作发表论文与合作完成科研项目的级别与数量情况见表 1。表 1 中, 单元区域中第 1 行的 3 个元素为伙伴配合在 A、B、C 3 个级别下发表论文的数量, 第 2 行的 3 个元素为伙伴配合在 A、B、C 3 个级别下完成科研项目的数量。同时, 表 1 中行元素表示  $P_1$  配合伙伴  $P_j$  的情况, 此时  $P_j$  为第一作者或项目负责人。

由表 1 中数据, 运用式(3)和式(4), 计算得到 8 位候选伙伴的综合协同效应矩阵(见表 2)。

依据得到的综合协同效应矩阵, 组织者根据数学模型(OP1), 采用上文介绍的启发式算法对问题进行求解, 可得最优解为  $X^* = (1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0)^T$ , 对应选择的伙伴为  $P_1, P_4, P_6, P_7$ , 最优目标函数值  $Z = 5.86$ 。

表 2 8 位候选伙伴合作发表论文和合作完成科研项目的级别与数量

	$P_1$		$P_2$		$P_3$		$P_4$		$P_5$		$P_6$		$P_7$		$P_8$									
$P_1$	—	—	—	0	1	2	0	2	2	5	14	5	0	0	0	5	8	9	7	8	2	1	0	0
	—	—	—	0	1	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	4	2	0	2	0	0	1	0	0
$P_2$	0	2	2	—	—	—	0	0	0	0	4	0	3	5	5	0	0	0	0	2	1	0	4	2
	0	0	0	—	—	—	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
$P_3$	0	2	0	0	0	0	—	—	—	1	1	1	3	2	2	0	0	4	0	0	2	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	—	—	—	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4
$P_4$	4	4	6	0	2	2	1	1	0	—	—	—	0	4	1	7	0	11	12	11	15	0	0	2
	1	5	2	0	0	4	0	1	0	—	—	—	0	0	0	2	5	0	2	5	1	1	1	0
$P_5$	3	0	1	0	3	2	5	6	5	2	3	4	—	—	—	2	3	2	0	0	0	1	2	1
	0	0	0	0	1	1	0	2	2	1	0	0	—	—	—	1	1	0	0	0	0	0	0	0
$P_6$	0	0	5	0	0	0	0	2	0	11	9	5	4	7	7	—	—	—	0	6	0	2	4	2
	0	1	1	0	0	0	0	2	0	1	0	3	2	2	0	—	—	—	1	4	0	0	0	0
$P_7$	4	0	3	0	2	2	0	0	2	11	8	5	0	0	0	2	5	1	—	—	—	3	0	0
	0	1	1	0	0	2	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	1
$P_8$	1	1	0	1	1	0	0	0	2	2	3	0	2	1	2	4	4	3	0	4	0	—	—	—
	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	—	—	—

表 2 8 位候选伙伴的综合协同效应矩阵

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$
$P_1$	—	0.08	0.14	0.62	0.00	0.57	0.40	0.07
$P_2$	0.05	—	0.00	0.13	0.29	0.00	0.04	0.15
$P_3$	0.06	0.00	—	0.05	0.17	0.13	0.02	0.12
$P_4$	0.58	0.17	0.08	—	0.07	0.66	1.00	0.14
$P_5$	0.09	0.14	0.41	0.21	—	0.82	0.00	0.07
$P_6$	0.12	0.00	0.12	0.62	0.51	—	0.34	0.13
$P_7$	0.20	0.11	0.02	0.61	0.00	0.14	—	0.10
$P_8$	0.04	0.13	0.02	0.12	0.09	0.19	0.24	—

#### 4 结语

本研究提出了一种基于协同效应的知识创新团队伙伴选择方法。该方法通过建立优化模型,并开发了一种 GRASP 启发式算法来对模型进行求解,具有较好的应用背景,能够解决一类现实问题,也具有较好的可操作性和实用性。需要指出的是,今后的研究工作还应考虑候选伙伴的个体信息,同时也应进一步深入研究模型的有效求解算法。

#### 参 考 文 献

[1] SAMADDAR S, KADIYALA S S. An Analysis of Interorganizational Resource Sharing Decisions in Collaborative Knowledge Creation [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 170(1): 192~210.

[2] CHOI T Y, HONG Y. Unveiling the Structure of Supply Networks: Case Studies in Honda, Acura and Daimler-Chrysler [J]. Journal of Operations Management, 2002, 20(5): 469~493.

[3] WANG T C, CHEN Y H. Applying Consistent Fuzzy Preference Relations to Partnership Selection [J]. Omega, 2007, 35(3): 384~388.

[4] DING J F, LIANG G S. Using Fuzzy MCDM to Se-

lect Partners of Strategic Alliances for Liner Shipping [J]. Information Sciences, 2005, 173(1-3): 197~225.

[5] HAJIDIMITRIOU Y A, GEORGIU A C. A Goal Programming Model for Partner Selection Decisions in International Joint Ventures [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 138(3): 649~662.

[6] FISCHER M, JAHN H, TEICH T. Optimizing the Selection of Partners in Production Networks [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2004, 20(3): 593~601.

[7] SAEN R F. Suppliers Selection in the Presence of Both Cardinal and Ordinal Data [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 183(2): 741~747.

[8] LI S X. Is It Better to Be Talented, Popular or Nice? The Role of Experiential and Non-Experiential Information in Interorganizational Partner Selection [C]// Academy of Management Proceedings, Boston, 2000.

[9] GHOSH J B. Computational Aspects of the Maximum Diversity Problem [J]. Operations Research Letters, 1996, 19(4): 175~181.

[10] HELLRIEGEL D, SLOCUM J W, WOODMAN R W. Organization Behavior [M]. 9th ed. Natorp Blvd Mason, Ohio: South-Western College Publishing, 1998.

[11] KUO C C, GLOVER F, DHIR K S. Analyzing and Modeling the Maximum Diversity Problem by Zero-One Programming [J]. Decision Sciences, 1993, 24(6): 1 171~1 185.

(编辑 郭恺)

作者简介: 冯博(1981~),女,山东济南人。华南理工大学(广州市 510640)工商管理学院副教授,博士。研究方向为运作管理与决策分析。E-mail: fengbo@scut.edu.cn