

需求驱动的虚拟企业合作伙伴选择

赵金辉^{1†}, 王学慧², 周 玉³

(1. 河北地质大学 网络信息安全实验室, 石家庄 050031; 2. 河北地质大学 宝石与材料工艺学院, 石家庄 050031; 3. 华北水利水电大学 电力学院, 郑州 450045)

摘要: 针对虚拟企业建立过程中的合作伙伴选择问题,以合作需求为驱动,将粗糙数理论与可拓评价相结合,建立合作伙伴选择的粗糙可拓评价方法. 首先,利用质量功能展开法分析企业的合作需求及其重要度,并将其转化为选择决策属性及其重要度,其中采用粗糙数处理分析过程中的不确定语义信息,基于极大熵准则对粗糙质量功能展开进行计算;然后,基于企业的合作需求构建合作伙伴选择粗糙可拓评价方法,从中推荐出最合适的候选企业;最后,通过实例分析与比较验证所提出方法的可行性和有效性.

关键词: 虚拟企业; 合作需求; 伙伴选择; 质量功能展开方法(QFD); 粗糙数; 可拓评价
中图分类号: TP18; N94 **文献标志码:** A

Selection of virtual enterprise partner driven by requirements

ZHAO Jin-hui^{1†}, WANG Xue-hui², ZHOU Yu³

(1. Network Information Security Laboratory, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China; 2. School of Precious Stones and Materials Technic, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China; 3. School of Electric Power, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: Aiming at the problem of partner selection in the process of virtual enterprise's establishment, this paper combines the rough number theory with extension evaluation to establish the rough extension evaluation method of partner selection, which is driven by the cooperation demand. Firstly, quality function deployment (QFD) is used to analyze the enterprise's cooperation demands and their importance degrees, which are translated into decision attributes and their importance degrees. In the deployment processing, the rough number is employed to deal with uncertainty semantic information, and the maximum entropy criterion is provided to the process of rough QFD. Then, based on the cooperation demands of enterprises, this paper proposes a rough extension evaluation method, which is used to recommend the most suitable candidate enterprises. Finally, the feasibility and effectiveness of proposed method are verified by case analysis and comparison.

Keywords: virtual enterprise; cooperation demand; partner selection; quality function deployment (QFD); rough number; extension evaluation

0 引言

伴随着信息与计算机网络的广泛应用,响应速度快、适应能力强、运作成本低的虚拟企业,以其独特的合作方式成为当今企业重要的组织模式. 通过网络虚拟企业可以实现跨时空的资源共享与优化配置,可以快速响应多变的市场、完成任务. 合作伙伴选择是运作虚拟企业的关键环节,一直都是学术界与产业界关注的重点. 文献[1]按照标准制定、量化和评价选择3个步骤来选择虚拟合作伙伴,这也是当前普遍遵循的选择步骤;文献[2]从多属性决策视角出发,在决策属性为区间数情况下利用TOPSIS法(Technique for order preference by similarity to an ideal solution)选

择虚拟合作伙伴;文献[3]针对以往的研究将时间、风险、成本等定量指标作为优选准则,忽略了信任这一重要因素,从能力、动机和持续性这3个维度构建企业信任度评价方法,基于信任来选择虚拟企业的合作伙伴,并设计了编码遗传算法和Hebbian算法进行求解;文献[4]考虑了运输和制造过程中的碳排放以及工期与时序,建立了以极小成本为目标的虚拟运输合作伙伴和虚拟制造合作伙伴选择模型,并用改进的蝙蝠算法求解该模型;文献[5]考虑云制造环境中信息的不完全和动态性,提出了一种基于广义优序法的合作伙伴选择方法;文献[6]考虑企业合作的预期心理,结合合作双方的利益需求,构建了虚拟合作伙伴双向

收稿日期: 2018-03-23; 修回日期: 2018-12-28.

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1504622); 河北省社会科学发展重点课题(201602020215, 201802020211); 河北省科技厅软科学研究计划项目(17456001D).

†通讯作者. E-mail: zhaojh9977@sohu.com.

选择优化模型,并描述了遗传算法的求解过程.

质量功能展开方法(Quality function deployment, QFD)是常用的顾客需求驱动的产品设计方法^[7],用以将顾客的需求转化为产品的技术或者工程的要求,包括需求及重要度分析、功能需求及其重要度分析和需求选择与优化3个环节.文献[8]采用QFD将顾客需求及其重要度转化为产品功能需求与重要度,用三角模糊数处理QFD过程中的不确定信息,以信息公理为依据配置产品方案;文献[9]利用QFD将顾客需求及重要度转化为服务系统模块属性及重要度,以顾客满意度为最大优化目标,对候选方案进行优选.在QFD分析中,顾客需求和模块属性的关联关系,以及各项需求的重要程度有时难以用准确的数值来表示,而决策的专家更倾向于采用语义来表示这种不确定性.将模糊集与QFD结合起来处理需求分析中的一些主观性和不确定性,文献[10]首先采用相对偏好关系将需求模糊重要度转化为需求相对重要度,然后与模糊关联矩阵相乘得到决策属性的模糊重要度.

本文研究合作需求驱动的虚拟企业合作伙伴选择方法,根据实际情况采用QFD方法分析企业的合作需求,获取企业合作伙伴选择的决策属性,将评价短语转换成粗糙数并计算权重;将粗糙数理论与可拓评价方法相结合对候选企业进行评价选择;最后通过实例分析验证所提出方法的有效性.

1 需求驱动合作伙伴选择决策模型

需求驱动的虚拟合作伙伴选择需要将企业的合作需求转换成选择决策属性及其重要度,QFD是需求转换的一种有效的方法和工具.选择过程是以核心企业合作需求满意度最大为目标,在多个候选企业选择一个最优合作伙伴.本文结合粗糙QFD与粗糙可拓评价方法,提出需求驱动合作伙伴选择决策模型,如图1所示.

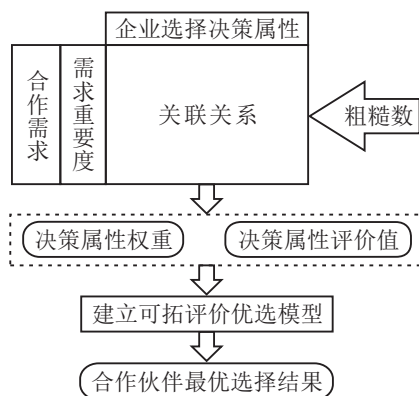


图1 需求驱动合作伙伴选择过程

具体决策过程如下.

Step 1: 组建专家组来调研核心企业的合作需求,

对合作需求重要度以及合作需求与决策属性间的关系利用语义进行评价,然后利用粗糙数对不确定语义信息进行处理,最后得到合作需求模糊重要度及合作需求与决策属性粗糙关联矩阵.

Step 2: 采用粗糙数处理不确定语义信息,基于极大熵准则对粗糙质量功能展开进行计算.

Step 3: 专家组对候选企业进行访谈与调研,获取候选企业信息.将粗糙数理论与可拓评价方法相结合构造区间物元,确定各决策属性的经典域与范围域,采用综合关联函数计算对各候选企业的满意度.

Step 4: 对各候选企业按综合满意度进行排序,选出其中最满意企业作为合作伙伴.

2 基于粗糙数的QFD分析

2.1 粗糙数理论基础

粗糙数(Rough number, RN)理论^[11]是对粗糙集理论的升华与发展,与常用的灰色系统、模糊集、直觉模糊集等信息处理方法相比,不但在数据分析中具有绝对的优势,而且能够更加客观、全面地反映决策者的意图.因此,本文引入RN理论来解决QFD分析与可拓评价过程中的主观性和不确定性问题.

由粗糙集的定义可知,若将非空有限集合 U 作为问题域, Y 是 U 中的任意对象,设 U 中所有元素可以划分为 q 个等价类, $R = \{N_1, N_2, \dots, N_q\}$ 是它的拓扑集族.若 q 个等价分类优先关系为 $\{N_1 < N_2 < \dots < N_q\}$,对任意等价类 $N_i (N_i \in R, i = 1, 2, \dots, q)$ 的上近似($\overline{\text{Apr}}(N_i)$)、下近似($\underline{\text{Apr}}(N_i)$)^[11]可分别定义为

$$\begin{cases} \overline{\text{Apr}}(N_i) = \bigcup \{Y \in U / R(Y) \geq N_i\}, \\ \underline{\text{Apr}}(N_i) = \bigcup \{Y \in U / R(Y) \leq N_i\}. \end{cases} \quad (1)$$

则 N_i 的边界区域可表示为

$$\text{Bnd}(N_i) = \{Y \in U / R(Y) < N_i\} \cup \{Y \in U / R(Y) > N_i\}. \quad (2)$$

可见,通过上下近似对决策系统中的元素优先级进行了直观清晰的分类,边界区域对决策的不确定性和模糊性进行了有效的度量.在问题域中,任何一个模糊、不完备、不分明划分,都可以由粗糙数的粗糙上下极限表示:

$$\text{RN}(N_i) = [\underline{\text{Lim}}(N_i), \overline{\text{Lim}}(N_i)]. \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned} \underline{\text{Lim}}(N_i) &= \frac{1}{B_L} \sum R(Y) | Y \in \underline{\text{Apr}}(N_i), \\ \overline{\text{Lim}}(N_i) &= \frac{1}{B_U} \sum R(Y) | Y \in \overline{\text{Apr}}(N_i). \end{aligned}$$

$\underline{\text{Lim}}(N_i)$ 是粗糙下极限, B_L 是 $\underline{\text{Apr}}(N_i)$ 中类的数量;

$\overline{\text{Lim}}(N_i)$ 是粗糙上极限, B_U 是 $\overline{\text{Apr}}(N_i)$ 中类的数量.

这样, 粗糙数就以区间数的形式表现出来, 粗糙数的算法运算与比较方法也遵守区间数的运算规则与比较方法, 在此不再赘述.

2.2 基于粗糙数的 QFD 相关计算

在 QFD 分析过程中, 由于合作需求的重要度以及合作需求与决策属性间的关联关系难以用数值精确表达, 专家评价更倾向于用不确定评价短语表达, 在此对不确定语义信息利用粗糙数进行处理. 组建专家组对核心企业进行座谈与调研, 明确核心企业合作需求 $C_i (1 \leq i \leq m)$ 与选择决策属性指标 $M_j (1 \leq j \leq n)$. 若专家 $E_k (1 \leq k \leq K)$ 对合作需求 C_i 重要度的评价由语义转为粗糙数 ($^k[\underline{\omega}_i, \overline{\omega}_i]$), 利用算术平均法计算合作需求重要度的群决策均值 $[\underline{\omega}_i, \overline{\omega}_i]$ 为
$$[\underline{\omega}_i, \overline{\omega}_i] = \frac{1}{K} ({}^1[\underline{\omega}_i, \overline{\omega}_i] + {}^2[\underline{\omega}_i, \overline{\omega}_i] + \dots + {}^k[\underline{\omega}_i, \overline{\omega}_i]). \quad (4)$$

区间表示的粗糙数需要进一步转换为精确的数值以便后继的计算, 常用的转换方法有相关性系数^[12]、区间中间值^[13]等, 但这些方法缺少充分的理论依据. 区间所示的粗糙数为专家主观评价合作需求重要度的均值, 已表达了部分权重信息, 由极大熵准则^[14]可知, 在部分权重信息已知的前提下, 满足约束条件的所有指标权重熵值总和达到最大时, 权重的可能性也最大, 此时权重配置最为合理. 在此以专家评价合作需求重要度均值作为极大熵准则的约束条件, 进行非线性优化求解, 将所得结果作为合作需求重要度的权重, 即

$$\begin{aligned} \max F &= - \sum_{i=1}^m \omega_i \log_2 \omega_i; \\ \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m \omega_i &= 1, \quad \omega_i \in [\underline{\omega}_i, \overline{\omega}_i], \quad i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (5)$$

若专家 E_k 评价合作需求 C_i 与决策属性 M_j 之间的关联关系转化为粗糙数 $^k[\underline{r}_{ij}, \overline{r}_{ij}]$, 由粗糙数表示的群决策均值 $[\underline{r}_{ij}, \overline{r}_{ij}]$ 为

$$[\underline{r}_{ij}, \overline{r}_{ij}] = \frac{1}{K} ({}^1[\underline{r}_{ij}, \overline{r}_{ij}] + {}^2[\underline{r}_{ij}, \overline{r}_{ij}] + \dots + {}^k[\underline{r}_{ij}, \overline{r}_{ij}]). \quad (6)$$

合作需求与决策属性间的关联关系矩阵 R 可以表示为

$$R = [[\underline{r}_{ij}, \overline{r}_{ij}]] = \begin{bmatrix} [[\underline{r}_{11}, \overline{r}_{11}]] & [[\underline{r}_{12}, \overline{r}_{12}]] & \dots & [[\underline{r}_{1n}, \overline{r}_{1n}]] \\ [[\underline{r}_{21}, \overline{r}_{21}]] & [[\underline{r}_{22}, \overline{r}_{22}]] & \dots & [[\underline{r}_{2n}, \overline{r}_{2n}]] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [[\underline{r}_{m1}, \overline{r}_{m1}]] & [[\underline{r}_{m2}, \overline{r}_{m2}]] & \dots & [[\underline{r}_{mn}, \overline{r}_{mn}]] \end{bmatrix}. \quad (7)$$

可得决策属性的重要度粗糙数为

$$R_j = \sum_{i=1}^m \omega_i \cdot [[\underline{r}_{ij}, \overline{r}_{ij}]]. \quad (8)$$

同理, 将式 (8) 的结果作为极大熵准则的约束条件, 进行非线性优化求解, 得到选择决策属性的权重向量

$$[w_j] = [w_1, w_2, \dots, w_n], \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

3 基于粗糙可拓评价的优选

可拓学^[15-17] 包括可拓理论、可拓评价方法和可拓工程等内容, 经过众多学者多年不懈的努力, 可拓学取得了一系列的突破性发展, 广泛地应用于评价、数据挖掘、控制与决策、模式识别等领域.

由于在虚拟合作伙伴优选过程中, 从网络获取或从候选企业提供的数据既有确定的数值, 也有专家不确定的短语评价, 若使用常规的物元模型, 则不能描述定性指标的模糊性和不确定性. 采用传统的模糊物元^[15] 则需要将原本明确的定量值模糊化, 这必将引进不必要的不确定性. 在此利用粗糙数处理评价过程中的定性指标, 扩展现有物元定义至粗糙数范围, 称为粗糙物元. 粗糙物元是一个三元组, 记为 $R = [\text{事物}, \text{特征}, \text{量值}] = [N, c, [\underline{v}, \overline{v}]]$. 如果事物 N 有 n 个特征, 则 n 维粗糙物元可以表示为

$$R = (N, C, V) = \begin{bmatrix} N & c_1 & [\underline{v}_1, \overline{v}_1] \\ & c_2 & [\underline{v}_2, \overline{v}_2] \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & [\underline{v}_n, \overline{v}_n] \end{bmatrix}, \quad (10)$$

其中 $[\underline{v}_i, \overline{v}_i]$ 是用区间表示的一个粗糙数, 当 $\underline{v}_i = \overline{v}_i$ 时, 粗糙数就变成了一个确定的数值.

3.1 确定经典域、节域与最优向量

在确定了物元的描述形式后, 可以根据每一个选择决策属性的可接受范围确定经典域, 即

$$R_0 = (N_0, c_j, V_j) = \begin{bmatrix} N_0 & c_1 & [\underline{v}_1, \overline{v}_1] \\ & c_2 & [\underline{v}_2, \overline{v}_2] \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & [\underline{v}_n, \overline{v}_n] \end{bmatrix}. \quad (11)$$

其中: N_0 表示满意度; V_j 表示 N_0 关于指标 c_j 取值可接受范围, 该范围称为经典域. 经典域确定过程中也存在不确定语义, 根据属性的类型确定经典域可分 3 种情况, 如声誉为效益型属性, 语义经典域为 (好, 非常好), 转换成粗糙数后表示的区间为 $[[V_{\text{好}}, \overline{V}_{\text{好}}], [V_{\text{非常好}}, \overline{V}_{\text{非常好}}]]$, 数值经典域乐观为 $[V_{\text{好}}, \overline{V}_{\text{非常好}}]$ 、中间为 $[(V_{\text{好}}, \overline{V}_{\text{好}})/2, \overline{V}_{\text{非常好}}]$ 、悲观为 $[\overline{V}_{\text{好}}, \overline{V}_{\text{非常好}}]$.

节域反映了属性可能的取值范围, 根据实际情况确定节域如下:

$$R_p = (P, c_j, V_{pj}) = \begin{bmatrix} P & c_1 & [\underline{v}_{p1}, \bar{v}_{p1}] \\ & c_2 & [\underline{v}_{p2}, \bar{v}_{p2}] \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & [\underline{v}_{pn}, \bar{v}_{pn}] \end{bmatrix}, \quad (12)$$

其中 V_{pj} 是集合 P 关于属性 c_j 的可能取值范围, 这个范围称为节域. 粗糙数表示不确定语义范围, 也是所有可能取值的范围, 如: 声誉的不确定语义节域为 [非常坏, 非常好], 粗糙数区间为 $[[V_{\text{非常坏}}, \bar{V}_{\text{非常好}}], [V_{\text{非常好}}, \bar{V}_{\text{非常坏}}]]$, 数值节域为 $[V_{\text{非常坏}}, \bar{V}_{\text{非常好}}]$.

属性最优取值是核心企业对每一决策属性达到最满意时该属性的取值, 所有的最优取值构成核心企业合作伙伴选择的最优向量, 即

$$X_0 = [x_{0,j}] = [x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}]. \quad (13)$$

3.2 确定待评价物元

将候选企业评价所得到的定性信息和定量数据以式(10)的形式基于粗糙数来表示, 即可形成合作伙伴选择待评价粗糙物元如下:

$$R_s = (S, c_j, x_j) = \begin{bmatrix} S & c_1 & [\underline{x}_1, \bar{x}_1] \\ & c_2 & [\underline{x}_2, \bar{x}_2] \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & [\underline{x}_n, \bar{x}_n] \end{bmatrix}. \quad (14)$$

3.3 构造关联函数

在可拓学中, 关联函数定量、客观地描述了事物具有某种性质的程度, 以及该性质的量变与质变过程. 在虚拟企业合作伙伴选择过程中, 根据经典域与节域区间构成的特性, 建立核心企业对候选企业第 j 个属性的满意度的关联函数^[18-19], 记为 $\mu_j(x_j)$ ($1 \leq j \leq n$), 表示为

$$\mu_j(x_j) = \begin{cases} \frac{d(x_j, V_j)}{D(x_j, V_j, V_{pj})}, & x_j \cap V_j = \emptyset; \\ \frac{d(x_j, x_{0j}, V_j)}{D(x_j, V_j, V_{pj})}, & x_j \cap V_j \neq \emptyset. \end{cases} \quad (15)$$

其中: $d(x_j, V_j)$ 表示区间 x_j 与 V_j 间的距, x_j 表示 V_j 的小模区间. 则区间 x_j 与 V_j 间的距为

$$d(x_j, V_j) = \left| \frac{\underline{x}_j + \bar{x}_j}{2} - \frac{\underline{v}_j + \bar{v}_j}{2} \right| - \left(\frac{\bar{v}_j - \underline{v}_j}{2} - \frac{\bar{x}_j - \underline{x}_j}{2} \right) = \begin{cases} \underline{v}_j - \underline{x}_j, & (\underline{x}_j + \bar{x}_j)/2 \leq (\underline{v}_j + \bar{v}_j)/2; \\ \bar{x}_j - \bar{v}_j, & (\underline{x}_j + \bar{x}_j)/2 \geq (\underline{v}_j + \bar{v}_j)/2. \end{cases} \quad (16)$$

$D(x_j, V_j, V_{pj})$ 表示区间 x_j 关于区间 V_j 和区间 V_{pj} 的位置, 有

$$D(x_j, V_j, V_{pj}) =$$

$$\begin{cases} \underline{v}_j - \bar{v}_j, & d(x_j, V_{pj}) = d(x_j, V_j); \\ d(x_j, V_{pj}) - d(x_j, V_j) + \underline{v}_j - \bar{v}_j, & \\ d(x_j, V_{pj}) \neq d(x_j, V_j), & x_j \subset V_j; \\ d(x_j, V_{pj}) - d(x_j, V_j), & \\ d(x_j, V_{pj}) \neq d(x_j, V_j), & x \in x_j - V_j. \end{cases} \quad (17)$$

$d(x_j, x_{0j}, V_j)$ 表示区间与区间的侧距, $x_{0j} \in V_j$ 表示属性 j 在节域内最满意点.

若 $x_{0j} \in (\underline{v}_j, (\underline{v}_j + \bar{v}_j)/2)$, 则 $d(x_j, x_{0j}, V_j)$ 称为区间 x_j 关于点 x_{0j} 和区间 V_j 的左侧距, 记为 $d_l(x_j, x_{0j}, V_j)$, 表示为

$$d_l(x_j, x_{0j}, V_j) = \begin{cases} \underline{v}_j - \underline{x}_j, & (\underline{x}_j + \bar{x}_j)/2 \leq \underline{v}_j; \\ (\bar{v}_j - x_{0j})(\underline{x}_j - \underline{v}_j)/(\underline{v}_j - x_{0j}), & \\ \underline{v}_j \leq (\underline{x}_j + \bar{x}_j)/2 \leq x_{0j}; & \\ \bar{x}_j - \bar{v}_j, & (\underline{x}_j + \bar{x}_j)/2 \geq x_{0j}. \end{cases} \quad (18)$$

若 $x_{0j} \in ((\underline{v}_j + \bar{v}_j)/2, \bar{v}_j)$, 则 $d(x_j, x_{0j}, V_j)$ 称为区间 x_j 关于点 x_{0j} 和区间 V_j 的右侧距, 记为 $d_r(x_j, x_{0j}, V_j)$, 表示为

$$d_r(x_j, x_{0j}, V_j) = \begin{cases} \underline{v}_j - \underline{x}_j, & (\underline{x}_j + \bar{x}_j)/2 \leq x_{0j}; \\ (\underline{v}_j - x_{0j})(\bar{v}_j - \bar{x}_j)/(\bar{v}_j - x_{0j}), & \\ x_{0j} \leq (\underline{x}_j + \bar{x}_j)/2 \leq \bar{v}_j; & \\ \bar{x}_j - \bar{v}_j, & (\underline{x}_j + \bar{x}_j)/2 \geq \bar{v}_j. \end{cases} \quad (19)$$

显然, 当 $\bar{x}_j = \underline{x}_j$ 时, 粗糙数退化为一个实数, 区间侧距退化为文献[15]中的点与区间的侧距.

3.4 计算综合关联度

候选企业综合满意度为

$$\mu(R_s) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \mu_j(x_j). \quad (20)$$

按照综合满意度对候选企业进行排序, 最大的即为最满意的合作伙伴.

4 实例验证与分析

4.1 合作伙伴优选

为了验证本文决策模型的有效性, 以某智能设备制造网络合作伙伴为例, 说明决策过程. 经过市场调研, 该企业发现某种新型智能设备在未来具有很好的市场前景, 并在小规模生产后取得了较好的效果. 按照制造工艺流程, 该智能设备可分为5个子任务 $TK_1, TK_2, TK_3, TK_4, TK_5$, 流程如图2所示.

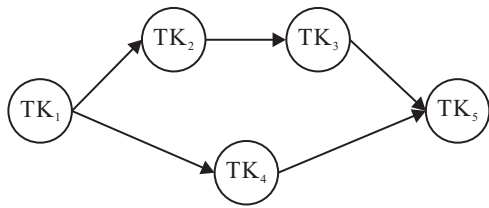


图2 某智能设备制造流程

由于能力有限,该企业可以完成TK₁、TK₂、TK₃三个任务,其他两个任务需寻找企业合作完成,如通过网络平台寻找不固定合作伙伴,质量和供货期得不到保证,为了使新型设备在市场上尽快地占有一席之地,决定成立虚拟联盟共谋发展.为了客观地选择虚拟合作伙伴,聘请业内专家与企业高层管理人员组成20人专家组,对合作需求进行分析与实地调研,从候选企业中选择合作伙伴.

经过对核心企业的座谈与调研,获取企业对合作伙伴及提供产品部件的要求,包括服务能力(C₁)、低能耗(C₂)、合作可持续性(C₃)、合作动机(C₄)、良好的声誉(C₅).根据实际需要从财务、技术、员工、管理等方面选取评价指标对候选企业进行评价,包括财务状况(M₁)、成本控制(M₂)、生产能力(M₃)、技术水平(M₄)、节能方案(M₅)、售后效率(M₆)、人力资源状况(M₇)、组织管理(M₈)、历史经验(M₉)、合作需求(M₁₀)、发展前景(M₁₁)与合作风险(M₁₂).常用的不确定语义评价有五级、七级和九级划分,根据专家习惯与实际需要采用七级划分.设问题论域为[X_{min}, X_{max}] = [0, 1],分别用{0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0}标识7个等级.专家组对企业合作需要采用七级语义评价,如表1所示.

表1 合作需求重要度评价与相对重要度

	非常不重要	不重要	较不重要	一般	较重要	重要	非常重要	平均粗糙数	权重
C ₁	0	0	0	1	1	8	10	[0.851, 0.975]	0.226
C ₂	0	1	2	3	5	4	5	[0.516, 0.888]	0.173
C ₃	0	0	0	3	5	9	3	[0.699, 0.902]	0.195
C ₄	0	1	2	2	3	7	5	[0.558, 0.915]	0.181
C ₅	0	0	0	0	4	5	11	[0.846, 0.975]	0.224

现以C₁为例描述语义评价到粗糙数的转化过程.由表1可知:C₁评价集为{0.5, 0.7, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0},根据语言等级将它划分成4个等价类(N₄ < N₅ < N₆ < N₇),由式(3)计算每个等价类的上限与下限,将语义评价转换成粗糙数区间, $\text{Lim}(N_4) = (0.5)/1 = 0.5, \overline{\text{Lim}}(N_4) = (0.5 + 0.7 + 0.9 \times 8 + 1.0 \times 10)/20 = 0.92$,因此C₁中粗糙数RN(N₄)为[0.500, 0.920].同理,可求得指标C₁另3个等价类N₅ < N₆ < N₇的粗糙数区间分别为:RN(N₅) = [0.600, 0.942], RN(N₆) = [0.840, 0.956], RN(N₇) =

[0.920, 1.000].在此认为群决策中每位专家的权重相同,则由式(4)计算合作需求C₁重要度的群决策平均粗糙数为[0.851, 0.975].类似地,可以算出其他需求重要度的粗糙数与平均粗糙数区间,如表1所示.

由于合作需求重要度中平均粗糙数区间不存在 $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$ 的情况,以各属性平均粗糙数区间的中间值对平均粗糙数中间值作归一化处理,并用式(5)计算出合作需求权重,结果如表1所示.

同样,专家使用语义评价合作需求与选择决策属性间的关系,由式(1)~(3)将不确定评价语义转换成粗糙数,评价结果与平均粗糙数如表2所示.

表2 合作需求与选择决策属性关联关系语义评价

	非常不重要	不重要	较不重要	一般	较重要	重要	非常重要	平均粗糙数
r ₁₁	0	0	0	1	3	7	9	[0.808, 0.967]
r ₁₂	0	0	1	2	5	7	5	[0.669, 0.921]
r ₁₃	0	0	0	0	2	3	15	[0.909, 0.993]
r ₁₄	0	0	0	0	3	9	8	[0.852, 0.963]
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
r ₅₉	0	0	0	1	2	3	14	[0.854, 0.989]
r ₅₁₀	0	3	4	7	5	1	0	[0.318, 0.619]
r ₅₁₁	0	0	0	3	11	5	1	[0.653, 0.816]
r ₅₁₂	0	0	0	0	4	6	10	[0.841, 0.971]

用粗糙数将合作需求与选择决策属性之间的关联关系表示出来,得到式(7)要求的合作需求与决策属性之间的粗糙关联矩阵,如表3所示. 根据表2与表3所提供数据,将式(8)计算出的结果作为极大熵准则

的约束条件,同样进行非线性优化求解,得到选择决策属性的权重向量为

$$[0.0779, 0.0862, 0.1123, 0.0849, 0.0664, 0.0735, 0.0744, 0.0677, 0.0606, 0.0874, 0.0986, 0.1101].$$

表3 合作需求与选择决策属性模糊关联矩阵

	M_1	M_2	M_3	...	M_{10}	M_{11}	M_{12}
C_1	[0.808, 0.967]	[0.669, 0.921]	[0.909, 0.993]	...	[0.663, 0.826]	[0.619, 0.755]	[0.847, 0.975]
C_2	[0.029, 0.159]	[0.846, 0.975]	[0.526, 0.774]	...	[0.020, 0.101]	[0.323, 0.601]	[0.262, 0.338]
C_3	[0.492, 0.777]	[0.670, 0.885]	[0.936, 0.984]	...	[0.846, 0.949]	[0.954, 0.989]	[0.897, 0.979]
C_4	[0.052, 0.199]	[0.025, 0.121]	[0.433, 0.618]	...	[0.964, 0.996]	[0.576, 0.845]	[0.817, 0.926]
C_5	[0.852, 0.963]	[0.487, 0.630]	[0.866, 0.988]	...	[0.318, 0.619]	[0.653, 0.816]	[0.841, 0.971]

随后,专家组对通过初选的5家候选企业进行调研与评价. M_3 和 M_6 为定量指标, M_3 为单位时间内生产量, M_6 为近两年售后统计数据,其他指标由专家采用不确定语义进行评价. 下面以候选企业 A_1 为例描述可拓评价过程,20位专家对企业 A_1 评价结果如表4所示.

表4 候选企业 A_1 评价结果

指标	非常差	差	较差	一般	较好	好	非常好
M_1	0	0	0	3	7	9	1
M_2	0	1	3	10	4	2	0
M_4	0	1	2	5	9	2	1
M_5	0	0	3	5	10	2	0
M_7	0	0	3	6	8	3	0
M_8	0	0	5	9	4	1	1
M_9	0	0	0	2	2	3	13
M_{10}	0	0	0	1	6	9	4
M_{11}	0	0	0	3	5	11	1
M_{12}	2	4	10	4	0	0	0

M_3 和 M_6 由实际统计得到,候选企业 A_1 的 M_3 是2570个/月, M_6 统计百分比为92.1%. 由粗糙数理论将评价结果转换成粗糙数区间. 根据可拓评价过程,首先需要根据需求确定可接受的各指标范围,分析可知:核心企业想选择一个中等偏上的候选企业为合作伙伴,在此采用乐观态度确定经典域,因此经典域如表5所示.

表5 经典域

指标	经典域	指标	经典域	指标	经典域
M_1	[0.640, 1.000]	M_5	[0.578, 1.000]	M_9	[0.600, 1.000]
M_2	[0.489, 1.000]	M_6	[0.800, 1.00]	M_{10}	[0.671, 1.000]
M_3	[2500, 3500]	M_7	[0.559, 1.000]	M_{11}	[0.625, 1.000]
M_4	[0.559, 1.000]	M_8	[0.489, 1.000]	M_{12}	[0.000, 0.357]

节域是指标的取值范围,除 M_3 外,其余指标取值范围全在 $[0, 1]$ 之间, M_3 根据候选企业的实际生产能力,取值范围为 $[2000, 4000]$. 在虚拟企业合

作过程中,优势企业所占的利润也较多,分析合作需要可知,核心企业希望与中等偏上的企业合作,因此确定各指标最理想值向量为 $\{0.85, 0.85, 3000, 0.85, 0.70, 1, 0.85, 0.85, 0.85, 0.85, 0.85, 0.15\}$. 由式(15)计算各指标的关联系数,最后由式(20)可求得对企业 A_1 的综合满意度为0.046.

另可计算出其余4个候选企业综合满意度为

$$A_2 : 0.794, A_3 : 0.698, \\ A_4 : 0.396, A_5 : -0.163.$$

排序结果为

$$A_2 > A_3 > A_4 > A_1 > A_5.$$

A_2 为最优合作伙伴.

4.2 比较与分析

4.2.1 粗糙数处理语义信息分析

由于粗糙数可以很好地处理具有模糊性和主观性的语义信息,基于粗糙数的可拓评价方法,可以在具有语言评价的合作伙伴选择中保证选择的客观性和准确性. 基于粗糙数的可拓评价和传统可拓评价方法的评价结果如图3所示.

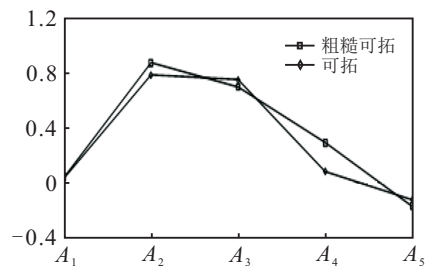


图3 粗糙可拓评价与可拓评价对比

由图3可见,它们的评价值各不相同,变化趋势不定,且有交叉,但排序结果都是 $A_2 > A_3 > A_4 > A_1 > A_5$. 这一结果的根本原因是粗糙可拓评价方法具有较强的不确定处理能力. 如表4中专家组对候选企业 A_1 的 M_1 指标评价结果为:3个一般、7个

较好、9个好、1个非常好.转换为粗糙数分别为[0.500,0.775]、[0.640,0.824]、[0.763,0.910]、[0.775,1.000],这是基于专家评价结果,充分考虑了各个专家在评价过程中的不确定性,而且是一个指标一次分析.例如“好”在指标 M_2 中的粗糙数为[0.530,0.900],明显与指标 M_1 中的“好”不同,区间越大,表明不确定性越大.指标 M_1 的均值[0.681,0.864]包含了专家组评价的综合信息,为选择提供了较全面的信息输入.而传统的可拓评价方法指标 M_1 的均值为0.775,失去了原始评价中的不确定信息,有可能导致评价结果的失真,如指标 M_{11} 中有3个一般、5个较好、11个好、1个非常好,其平均粗糙数为[0.702,0.881],传统均值为0.795,比指标 M_1 评价略好.如果 x_0 点选择为0.775,则在传统可拓评价中 M_1 的满意度函数是1,比 M_{11} 结果要好,但在有模糊不确定信息的情况下, M_1 的满意度函数不会为1.图3中的曲线变化趋势不定,且有交叉,说明丢失信息对评价结果的影响不确定.

4.2.2 比较分析

为了验证本文方法的有效性,分别与文献[2]中的区间TOPSIS方法、文献[8]中的模糊信息公理法进行对比,两种方法对5个企业的评价结果如表6所示.

表6 两种方法评价结果

方法	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
区间TOPSIS	0.601	0.788	0.89	0.629	0.508
模糊信息公理法	1.591	0.764	0.371	1.486	无

这两种方法分别采用粗糙数与三角模糊数来处理不确定评价语义信息,两种方法的排序结果基本一致,都为 $A_3 > A_2 > A_4 > A_1 > A_5$,其推荐结果为 A_3 与粗糙可拓推荐结果不一致.由算法处理过程可知,TOPSIS方法将各属性的最好和最差点分别作为正理想与负理想参考点,通过将各候选企业的评价结果与正、负理想参考点相比较,推荐出评价最好的企业作为合作伙伴.在这个决策过程中,参考点始终是不变的,完全没有与企业需求相联系.模糊信息公理法将企业可接受属性范围作为设计范围,计算可接受范围占系统范围比例的对数.因此这两种方法推荐的是条件最好的 A_3 .但是模糊信息公理法在任意属性不存在公共范围时会出现结果无法比较的现象,如 A_5 的计算结果为无.可拓评价方法的优势在于引入了辩证的思想,它将每一属性变化看成一个从不接受到接受的渐变过程,以经典域设置属性的可接受范围,以节域表示属性取值的变化范围,并以 x_0 标识可接受范围内的最优点,在构造如图4所示的可拓关联

函数基础上,计算在不同情况下各属性的隶属度.由于在现实选择过程中最好的不一定是合适的,最好的优势企业往往合作条件要求高,且希望占有更大的利润,可拓评价方法以企业最想合作需求作为最优点(x_0),设置可接受范围,紧紧围绕需求进行评价选择,可见可拓评价方法参数设置灵活、计算量小,更符合现实决策情况.

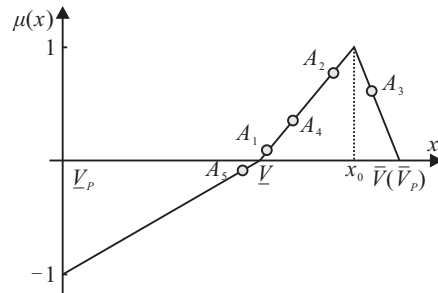


图4 可拓关联函数

5 结论

需求是核心企业选择虚拟合作伙伴的出发点,也是选择决策的主要依据.在借鉴已有研究成果的基础上,本文以满足合作需求最大为目标,提出了粗糙可拓的合作伙伴优选方法,特点如下:

1) 充分考虑了合作需求与决策属性间的关系,在QFD分析框架下,采用粗糙数处理分析过程中的不确定语义信息,基于极大熵准则对粗糙质量功能展开进行计算,将合作需求及其重要度转换为量化的决策属性权重,作为选择优化的输入.

2) 在合作伙伴选择过程中,充分考虑了评价信息的模糊性和不确定性,以及各属性的可接受范围与最理想点,将粗糙数理论与可拓评价有机地结合起来,提出了粗糙可拓的合作伙伴优选方法.

3) 通过分析某智能设备制造商根据需求选择合作伙伴的过程,表明了所采用理论的科学性,及所提方法的可行性和有效性.

参考文献(References)

[1] De Boer L, Labro E, Morlacchi P. A review of methods supporting supplier selection[J]. European Journal of Purchasing and Supply Management, 2001, 7(2): 75-89.
 [2] 张敏, 肖人彬. 多属性群决策视角下的虚拟企业伙伴选择[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2011, 39(1): 124-128.
 (Zhang M, Xiao R B. Partner selection of virtual enterprises in view of multi-attribute group decision-making[J]. J of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2011, 39(1): 124-128.)
 [3] 黄彬, 雷阳雄, 彭育辉, 等. 基于低碳的虚拟企业合作伙伴选择研究[J]. 中国工程机械学报, 2016, 14(1):

- 87-92.
(Huang B, Lei Y X, Peng Y H, et al. Low-carbon partner selection among virtual enterprises[J]. Chinese J of Construction Machinery, 2016, 14(1): 87-92.)
- [4] 张巍, 朱艳春, 孙宝文, 等. 基于信任的虚拟企业伙伴选择模型构建及仿真[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(2): 528-536.
(Zhang W, Zhu Y C, Sun B W, et al. Trust-aware partner selection modeling and simulation for virtual enterprise[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(2): 528-536.)
- [5] 赵金辉, 王学慧, 关文革, 等. 云制造环境中信息不完全的合作伙伴选择[J]. 计算应用研究, 2017, 34(5): 1298-1302.
(Zhao J H, Wang X H, Guan W G, et al. Select Partners of incomplete information in Cloud Manufacturing Environment[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(5): 1298-1302.)
- [6] 赵金辉, 关文革, 尹立杰. 云制造环境考虑心理预期的合作伙伴双向选择[J]. 计算机工程与科学, 2017, 39(6): 1193-1200.
(Zhao J H, Guan W G, Yin L J. Two-sided selection of partners considering psychological expectation in cloud manufacturing environment[J]. Computer Engineering and Science, 2017, 39(6): 1193-1200.)
- [7] 耿秀丽, 徐士东, 叶春明. 考虑定量KANO分析的产品功能需求优化设计[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(7): 1645-1653.
(Geng X L, Xu S D, Ye C M. Optimal design method of product function requirements considering quantitative KANO analysis[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(7): 1645-1653.)
- [8] 耿秀丽, 董雪琦. 基于模糊信息公理的产品功能需求优化方案选择[J]. 中国机械工程, 2016, 17(17): 2348-2355.
(Geng X L, Dong X Q. Optimization of product functional requirements based on fuzzy information Axiom[J]. China Mechanical Engineering, 2016, 17(17): 2348-2355.)
- [9] 耿秀丽, 徐士东, 叶春明. 顾客需求驱动的产品服务系统模块选配方法[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(1): 55-61.
(Geng X L, Xu S D, Ye C M. Module configuration approach for product service system design driven by customer requirements[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(1): 55-61.)
- [10] Wang Y J. A criteria weighting approach by combining fuzzy quality function deployment with relative preference relation[J]. Applied Soft Computing, 2014, 14(C): 419-430.
- [11] 赵文燕, 张换高, 谭润华, 等. 粗数——一种客户需求分析方法[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(11): 2493-2501.
(Zhao W Y, Zhanu H G, Tan R H, et al. Rough number — Customer requirements analytical method[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011, 17(11): 2493-2501.)
- [12] 李滨, 王亚龙. 基于多级可拓评价法的变电站建设项目功能效果后评价[J]. 电网技术, 2015, 39(4): 1146-1152.
(Li B, Wang Y L. A multi-level extension assessment based post-evaluation on function and effect of substation construction project[J]. Power System Technology, 2015, 39(4): 1146-1152.)
- [13] 周毅, 赵晓刚. 基于区间层次分析法的石油库防火防爆安全评价[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(12): 58-63.
(Zhou Y, Zhao X G. Safety assessment for fire and explosion of petroleum depot based on IAHP[J]. China Safety Science J, 2011, 21(12): 58-63.)
- [14] 汪群峰, 金佳佳, 米传民, 等. 基于灰关联深度系数的评价指标客观权重极大熵配置模型[J]. 控制与决策, 2013, 28(2): 235-240.
(Wang Q F, Jin J J, Mi C M, et al. Maximum entropy configuration model of objective index weight based on grey correlation deep coefficient[J]. Control and Decision, 2013, 28(2): 235-240.)
- [15] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 37-151.
(Cai W, Yang C Y, Lin W C. The extension engineering Method[M]. Beijing: Science Press, 1997: 37-151.)
- [16] Cai Wei. The extension set and incompatibility problem[J]. J of Scientific Exploration, 1983(1): 81-93.
- [17] Zhou YU, Tian Lian, Liu Linfei. Improved extension neural network and its applications[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014, 2014: 1-14.
- [18] 李桥兴, 刘思峰. 基于区间距和区间侧距的初等关联函数构造[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(7): 1097-1100.
(Li Q X, Liu S F. The method to construct interval elementary dependent function based on the interval distance and side-distance[J]. J of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(7): 1097-1100.)
- [19] 李桥兴, 刘思峰. 区间型一般初等关联函数构造方法[J]. 系统工程理论与实践, 2007(6): 173-176.
(Li Q X, Liu S F. The method to construct interval general elementary dependent function[J]. System Engineering — Theory & Practice, 2007(6): 173-176.)

作者简介

赵金辉(1972—), 男, 副教授, 博士后, 从事智能控制与决策等研究, E-mail: zhaojh9977@sohu.com;

王学慧(1974—), 女, 讲师, 从事企业信息管理的研究, E-mail: wangxh9977@126.com;

周玉(1979—), 男, 副教授, 博士, 从事智能信息处理、智能控制与决策等研究, E-mail: zhouyu_beijing@126.com.

(责任编辑: 齐 霖)