

中小型制造企业供应伙伴选择的 UVAHP 群决策法*

刘电霆^{1,2+}, 周德俭², 陶小梅²

¹(西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071)

²(桂林工学院 电子与计算机系, 广西 桂林 541004)

A Method of Suppliers Selection for SMMEs Based on UVAHP Group Decision Making

LIU Dian-Ting^{1,2+}, ZHOU De-Jian², TAO Xiao-Mei²

¹(School of Mechano-Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

²(Department of Electronic and Computer, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

+ Corresponding author: +86-773-5895103, E-mail: liudian@glite.edu.cn, <http://www.glite.edu.cn/git/index.asp>

Liu DT, Zhou DJ, Tao XM. A method of suppliers selection for SMMEs based on UVAHP group decision making. *Journal of Software*, 2006,17(Suppl.):225-232. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/s225.htm>

Abstract: For the selection of suppliers of components and parts for SMMEs (small and medium manufacturing enterprises) and on the basis of the analysis of the advantage and disadvantage of AHP, a new kind of AHP called UVAHP is presented to overcome the disadvantage of AHP, which builds judgment matrix using uncertainly voting group decision making, and specially deals with interval number and uncertain linguistic value, and specially deals with profit attributive value and loss attributive value. The basic principle and calculating steps are given, and the corresponding mathematic model is set up. An example testifies the correctness of the method. This method has higher reference value for the selection of components and parts supplier.

Key words: partner selection; AHP; voting; uncertain language; cooperative manufacturing

摘要: 针对中小型制造企业零部件供应伙伴的选择问题,在分析 AHP(层次分析法)优、缺点的基础上,提出了一种为克服 AHP 的缺点而采用不确定投票表决的方法来构造判断矩阵,且统一处理伙伴选择的各评价指标下的区间数值型属性值与不确定语言型属性值、增益指标属性值与损益指标属性值的 UVAHP 协作伙伴选择方法,给出了该方法的基本原理和基本步骤,建立了其相应的数学模型,并通过实例验证了其正确性.该方法对于中小型制造企业零部件供应商选择具有较高的参考价值.

关键词: 协作伙伴选择;层次分析法;投票;不确定语言;协同制造

现代制造企业是以市场为导向来组织企业的各项生产经营活动的.面对多样化、复杂、多变的市场与产品,越来越多的企业认识到:单凭自身能力无法在这场竞争中生存的,必须采用企业间合作的生产方式,取得双赢或者多赢才是根本之道.因此,企业之间组成联盟的协同制造,必然成为 21 世纪制造企业变革与发展的核心模式.而组成联盟的关键第一步是协作伙伴选择.

* Supported by the Natural Science Foundation of Guangxi Zhuang Autonomous Region of China under Grant No.0575101 (广西壮族自治区自然科学基金项目)

Received 2006-03-30; Accepted 2006-10-08

目前,我国中小企业占全部注册企业的绝大部分,在国民经济中具有举足轻重的作用.因此,研究中小企业合作伙伴的优选方法具有十分重要的社会、经济和学术意义.

目前比较成熟的常用于伙伴选择与评价理论与算法有层次分析法^[1-3]和模糊层次分析法^[4-6].AHP(层次分析法)^[7]是由 Saaty 教授提出的一种在决策中定性和定量相结合的实用多准则决策方法.它将定性问题量化,对解决多层次、多目标的系统优化问题行之有效,具有简单、易懂、易行等优点.

AHP 法的关键是判断矩阵的构造,但在进行各因素的两两比较时,往往很难准确地确定其相对重要程度;而且即使确定了相对重要程度后,在用诸如九分表^[7]或其他互反标度表^[8]进行相对重要程度的量化时,也难以准确加以表示.

为了克服 AHP 法的这种缺点并引入群决策的公正性和合理性,本文提出了一种采用不确定(uncertainly)投票(voting)表决方法来构造判断矩阵的层次分析法,并将区间数和不确定语言混合属性值统一处理,简称 UVAHP 群决策法.

1 UVAHP 群决策优选方法

1.1 桂科基0575101群决策法基本原理

UVAHP 群决策法和 AHP 法的原理和步骤基本相同,所不同的是判断矩阵的构造方法.AHP 法是根据各因素间的相对重要程度,采用九分表或其他互反标度表进行量化而构造判断矩阵.而 UVAHP 群决策法是采用多个专家不确定投票表决的方法来决定各因素间的重要程度比,以此来构成判断矩阵,具体方法如下:

设有 N 个评价指标(影响因素) F_1, F_2, \dots, F_n , 在总评价目标下,各指标的重要程度采用 9 级语言标度:

$$S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9\} = \{\text{极差, 很差, 差, 较差, 一般, 较好, 好, 很好, 极好}\}.$$

与该标度相对应的三角模糊数表达式为

$$\text{极差}=[0,0,1,0,2]; \text{很差}=[0,1,0,2,0,3]; \text{差}=[0,2,0,3,0,4]; \text{较差}=[0,3,0,4,0,5]; \text{一般}=[0,4,0,5,0,6];$$

$$\text{较好}=[0,5,0,6,0,7]; \text{好}=[0,6,0,7,0,8]; \text{很好}=[0,7,0,8,0,9]; \text{极好}=[0,8,0,9,1].$$

其中,极好>很好>好>较好>一般>较差>差>很差>极差.

现采用表格形式、组织 L 位专家对各指标的重要程度进行不确定投票.这些专家应当满足以下前提条件:

各专家是理智的,他们拥有足够的知识和技能,能够对特定目标作出合理判断;

各专家所作出的决策是独立的,相互之间不受影响.

对投票结果进行统计,计算每个评价指标的重要程度的模糊得分.

假设第 k 位专家对第 i 个评价指标的重要程度的不确定投票认为属于 9 级语言标度的可能性分别为

$$p_{i1}^k, p_{i2}^k, \dots, p_{i9}^k, \text{且 } 0 < p_{ij}^k < 1, \sum_{j=1}^9 p_{ij}^k = 1,$$

其中, $i=1,2,\dots,N, j=1,2,\dots,9, k=1,2,\dots,L$, 则第 k 位专家对第 i 个评价指标的重要程度综合评价为

$$b_i^k = \sum_{j=1}^9 p_{ij}^k s_j = \sum_{j=1}^9 s_{jp}^k \quad (1)$$

设第 k 位专家的权重为 $v_k, \sum_{k=1}^L v_k = 1$, 则第 i 个指标的重要程度群体综合评价为

$$b_i = \sum_{k=1}^L v_k b_i^k \quad (2)$$

这样,评价指标 F_i, F_j 的重要程度之比为 b_i/b_j .

设 $b_i = s_x, b_j = s_y, x, y \in [1,9]$, 令

$$a_{ij} = x/y \quad (3)$$

则构成判断矩阵 $A=[a_{ij}]$.

1.2 不确定语言^[9]

设 S_a, S_b 为语言变量(如好,较好等),则称 $\tilde{\mu} = [s_a, s_b]$ 为不确定语言变量,其全体组成的集合为 \tilde{S} .考虑任意两个不确定语言变量 $\tilde{\mu} = [s_a, s_b]$ 和 $\tilde{\nu} = [s_c, s_d]$,且实数 $\beta, \beta_1, \beta_2 \in [0, 1]$,定义它们的运算法则如下:

- (1) $\tilde{\mu} \oplus \tilde{\nu} = [s_a, s_b] \oplus [s_c, s_d] = [s_a \oplus s_c, s_b \oplus s_d] = [s_{a+c}, s_{b+d}]$;
- (2) $\beta \tilde{\mu} = \beta [s_a, s_b] = [\beta s_a, \beta s_b] = [s_{\beta a}, s_{\beta b}]$;
- (3) $\tilde{\mu} \oplus \tilde{\nu} = \tilde{\nu} \oplus \tilde{\mu}$;
- (4) $\beta(\tilde{\mu} \oplus \tilde{\nu}) = \beta \tilde{\mu} \oplus \beta \tilde{\nu}$;
- (5) $(\beta_1 + \beta_2) \tilde{\mu} = \beta_1 \tilde{\mu} \oplus \beta_2 \tilde{\mu}$.

1.3 UVAHP群决策法具体步骤

1.3.1 确定 UVAHP 的层次结构

在全球经济时代,通常认为时间、质量、成本、服务、环境、柔性等指标是决定企业成功的关键因素(或评价指标).对于中小型制造企业的零部件供应来说,供货时间(T)、零部件质量(Q)、零部件报价(P)和售后服务(S)尤为关键.

这样,中小型制造企业零部件供应伙伴的评价指标体系是一种多属性分层结构,如图 1 所示,可以采用 AHP 进行评价分析.

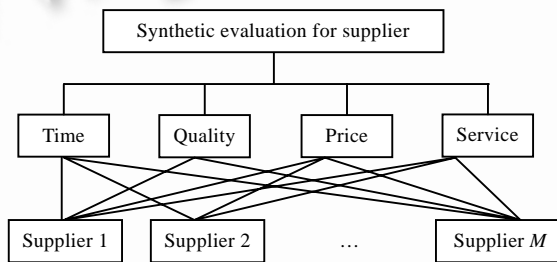


Fig.1 Analytic hierarchy structure drawing

图 1 层次分析结构图

它为 3 层结构,第 1 层是总目标,是对中小型制造企业零部件供应伙伴的综合评价;第 2 层是总目标下的 4 个评价指标,是候选企业评价的中间层,又是直接的候选企业评价的接触层.

1.3.2 确定评价指标集 F 和候选企业集 C

在如图 1 所示的多层次结构中,其评价指标集为两层结构.

第 1 层为总目标: F ;

第 2 层指标集为 $F_A = \{F_1, F_2, F_3, F_4\} = \{\text{时间,质量,报价,服务}\}$;

候选企业集: $C = \{C_1, C_2, \dots, C_M\}$.

1.3.3 确定评价指标权重向量 W

1.3.3.1 构造判断矩阵 A

采用第 1.1 节所述方法,根据式(1)~式(3),构造反映第 2 层评价指标间相对重要性的判断矩阵 A .

1.3.3.2 求评价指标权重向量 W

显然, $a_{ij} = 1/a_{ji}$,且 $a_{ii} = 1$,可以用特征向量法求判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{\max} 和对应的特征向量 X . X 进行归一化后就是第 2 层评价指标的权重向量 $W = [w_1, w_2, w_3, w_4]$.其中, $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$.

1.3.3.3 一致性检验

对判断矩阵 A 进行一致性检验.当最大特征值 λ_{\max} 大于表 1^[7]中给出的同阶矩阵相应的 λ_{\max} 时,不能通过一致性检验,应该重新投票估计矩阵 A ,直到 λ_{\max} 小于 λ_{\max} 通过一致性检验时,所求得的 W 才有效.

表 1 N 阶矩阵的临界特征值

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ_{\max}		3.116	4.27	5.45	6.62	7.79	8.99	10.16	11.34

1.3.4 确定各候选企业在各指标下属性值

在零部件供应伙伴的 4 个评价指标中,供货时间 T 和零部件报价 P 是数值型指标,各候选企业往往很难给出一个确切值,通常给出的是一个范围值 $[d_1, d_2]$,称为区间数.例如,某候选企业对其供应的某个零部件报价为 15 万元~20 万元之间,即可表示为区间数 $[15, 20]$.

零部件质量 Q 和售后服务 S 是语言型指标,由各专家根据各候选企业所提供的材料及其他相关材料,给出在各指标下优劣程度的范围(不确定语言值).这里,采用与第 1.1 节相同的 9 级语言标度来定义不确定语言值.比如,某位专家给出某候选企业在质量指标下的属性值在“一般”和“好”之间,用符号表示为不确定语言值 $[S_5, S_7]$.

供货时间和零部件报价由区间数给出,且是损益指标;而零部件质量和售后服务由不确定语言给出,且是增益指标.因此,需要将它们转换为同一类型,以便统一处理.这里采用下面的式(4)和式(5)将时间与报价指标下的区间数属性值转换为不确定语言 $[S_\alpha, S_\beta]$:

$$\alpha = 8 \frac{d_{2\max} - d_2}{d_{2\max} - d_{1\min}} + 1 \quad (4)$$

$$\beta = 8 \frac{d_{2\max} - d_1}{d_{2\max} - d_{1\min}} + 1 \quad (5)$$

其中, $d_{2\max}$ 为企业报出的最长供货时间或最高报价; $d_{1\min}$ 为最短供货时间或最低报价.

1.3.5 确定最佳供应伙伴

1.3.5.1 构造决策矩阵 \tilde{R}^k

根据各专家对各候选企业在各指标下的不确定语言属性值和各候选企业报出的区间数转换成的不确定语言属性值,可以构造决策矩阵为

$$\tilde{R}^k = [\tilde{r}_{ij}^k] \quad (6)$$

其中, \tilde{r}_{ij}^k 为第 k 位专家给出的第 i 个候选企业在第 j 个评价指标下的不确定语言属性值, $k=1, 2, \dots, L; i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, 3, 4$.

1.3.5.2 计算候选企业群体综合属性评估值

利用不确定语言加权算术平均方法,得到第 k 位专家给出第 i 个候选企业的综合属性评估值 \tilde{z}_i^k :

$$\tilde{z}_i^k = w_1 \tilde{r}_{i1}^k \oplus w_2 \tilde{r}_{i2}^k \oplus w_3 \tilde{r}_{i3}^k \oplus w_4 \tilde{r}_{i4}^k \quad (7)$$

利用各专家的权重 v_k , 其中 $\sum_{k=1}^L v_k = 1$, 对各位专家给出的第 i 个候选企业综合属性评估值 \tilde{z}_i^k 进行加权算术平均,得到该候选企业的群体综合属性评估值 \tilde{z}_i :

$$\tilde{Z}_i = v_1 \tilde{z}_i^1 \oplus v_2 \tilde{z}_i^2 \oplus \dots \oplus v_L \tilde{z}_i^L \quad (8)$$

1.3.5.3 建立比较矩阵 O

设 $\tilde{Z}_i = [S_{iL}, S_{iU}]$, $\tilde{Z}_j = [S_{jL}, S_{jU}]$, 令

$$o_{ij} = \frac{\frac{iL + iU}{2}}{\frac{jL + jU}{2}} = \frac{iL + iU}{jL + jU} \quad (9)$$

其中, $i, j=1, 2, \dots, M$, 则构建了各候选企业群体综合比较矩阵 $O = [o_{ij}]$.

1.3.5.4 计算比较矩阵 O 的排序向量 U

显然, $o_{ij}=1/o_{ji}$, 且 $o_{ii}=1$, 同样可以用特征向量法求各候选企业的群体综合排序向量 $U=(u_1, u_2, \dots, u_M)$.

1.3.5.5 一致性检验

若最大特征值 λ_{\max} 小于表 1 中给出的同阶矩阵相应的 λ_{\max} , 则通过一致性检验; 否则, 应重新给出各候选企业的属性值来估计比较矩阵 O 。

1.3.5.6 确定最佳候选企业

按 u_i 的大小对候选企业进行排序, 最大 u_i 对应的候选企业为即是所选择的最佳企业。

2 典型算例

设某企业要对其产品的某个零件寻找供应伙伴, 经网上发布后, 有 3 家(为简单起见)企业符合竞标资格, 现邀请了 7 位专家对这 3 个候选企业进行群组决策评估, 评价指标为第 1 节所述两层指标体系。

2.1 求评价指标权重向量 W

第 2 层有 4 个评价指标 F_1, F_2, F_3, F_4 , 组织 7 位专家对它们相对总目标的重要程度进行不确定投票。设第 1 位专家对第 1 个指标 F_1 的重要程度投票, 认为属于 9 级语言标度的可能性分别是:

$$s_1:0.0; s_2:0.0; s_3:0.0; s_4:0.0; s_5:0.0; s_6:0.1; s_7:0.2; s_8:0.3; s_9:0.4.$$

即
$$p_{11}^1 = p_{12}^1 = p_{13}^1 = p_{14}^1 = p_{15}^1 = 0, p_{16}^1 = 0.1, p_{17}^1 = 0.2, p_{18}^1 = 0.4, p_{19}^1 = 0.3,$$

则第 1 位专家对第 1 个指标 F_1 的重要程度综合评价为 1:

$$b_1^1 = \sum_{j=1}^9 p_{1j}^1 s_j = \sum_{j=1}^9 s_{j p_{1j}^1} = s_{7.9}.$$

同理可得:

$$b_1^2 = s_8, b_1^3 = s_{8.1}, b_1^4 = s_{8.5}, b_1^5 = s_{8.7}, b_1^6 = s_{8.4}, b_1^7 = s_{7.8}.$$

为简单起见, 设每位专家的权重都相同, 为 $1/7$, 则 7 位专家对第 1 个指标 F_1 重要程度群体综合评价为

$$b_1 = \sum_{k=1}^7 v_k b_1^k = s_{8.2}.$$

用同样的方法可以确定第 2 个、第 3 个和第 4 个指标 F_2, F_3, F_4 的重要程度群体综合评价分别为 $b_2 = s_{7.8}$, $b_3 = s_{6.5}, b_4 = s_{5.3}$ 。

根据式(3), 可计算出第 2 层指标的判断矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 8.2/7.8 & 8.2/6.5 & 8.2/5.3 \\ 7.8/8.2 & 1 & 7.8/6.5 & 7.8/5.3 \\ 6.5/8.2 & 6.5/7.8 & 1 & 6.5/5.3 \\ 5.3/8.2 & 5.3/7.8 & 5.3/6.5 & 1 \end{bmatrix}.$$

用 MATLAB 软件进行求解, 得到 A 的最大特征值及相应的特征向量分别为

$$\lambda_{\max} = 4.0011, [0.5821, 0.5534, 0.4610, 0.3774], \lambda_{\max} = 4.0011 < \lambda'_{\max} = 4.27,$$

则通过一致性检验。将特征向量归一化, 得到权重向量:

$$W = [w_1, w_2, w_3, w_4] = [0.2949, 0.2804, 0.2335, 0.1912].$$

2.2 确定各指标下候选企业的属性值

3 个候选企业提交的供货时间和报价见表 2。

表 2 候选企业对指标 T 和 P 报价

候选企业	企业 1	企业 2	企业 3
T (天)	[18,21]	[20,23]	[24,27]
P (万)	[18,20]	[16,19]	[15,17]

对于时间指标, 企业 1 报出的供货时间为区间数 [18,21], 按式(4)和式(5)转换为不确定语言值:

$$\alpha_{T1} = 8 \frac{d_{2\max} - d_2}{d_{2\max} - d_{1\min}} + 1 = 8 \frac{27 - 21}{27 - 18} + 1 = 6.3,$$

$$\beta_{T1} = 8 \frac{d_{2\max} - d_1}{d_{2\max} - d_{1\min}} + 1 = 8 \frac{27 - 18}{27 - 18} + 1 = 9.$$

这样,对于时间指标,企业 1 报出的供货时间可用不确定语言值表示为 $[s_{6.3}, s_9]$.

同理,企业 2 和企业 3 报出的供货时间可用不确定语言值表示分别为 $[s_{4.6}, s_{7.2}]$, $[s_1, s_{3.7}]$.企业 1、企业 2 和企业 3 的报价可用不确定语言值表示分别为 $[s_1, s_{4.2}]$, $[s_{2.6}, s_{7.4}]$ 和 $[s_{5.8}, s_9]$.

对于质量和服务指标,各专家对各候选企业评定的不确定语言值见表 3.

表 3 各专家对各候选企业在指标 Q 和 S 下的评价

专家 企业	专家 1		专家 2		专家 3		专家 4		专家 5		专家 6		专家 7	
	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S
No.1	$[s_{7.8}, s_8]$	$[s_8, s_9]$	$[s_7, s_9]$	$[s_7, s_8]$	$[s_8, s_9]$	$[s_7, s_9]$	$[s_7, s_8]$	$[s_6, s_8]$	$[s_6, s_8]$	$[s_7, s_8]$	$[s_7, s_9]$	$[s_8, s_9]$	$[s_8, s_9]$	$[s_7, s_9]$
No.2	$[s_7, s_9]$	$[s_7, s_8]$	$[s_6, s_8]$	$[s_8, s_9]$	$[s_6, s_8]$	$[s_8, s_9]$	$[s_7, s_9]$	$[s_7, s_8]$	$[s_7, s_9]$	$[s_7, s_8]$	$[s_8, s_9]$	$[s_7, s_9]$	$[s_6, s_8]$	$[s_7, s_8]$
No.3	$[s_6, s_7]$	$[s_5, s_7]$	$[s_5, s_6]$	$[s_6, s_7]$	$[s_5, s_7]$	$[s_6, s_8]$	$[s_6, s_8]$	$[s_5, s_7]$	$[s_5, s_7]$	$[s_6, s_7]$	$[s_5, s_8]$	$[s_6, s_7]$	$[s_5, s_7]$	$[s_7, s_8]$

2.3 确定最佳供应伙伴

根据各候选企业在各指标下的属性值,根据式(6)可以分别构造决策矩阵如下:

$$\begin{aligned} \tilde{R}^1 &= \begin{bmatrix} [s_{6.8}, s_9] & [s_7, s_8] & [s_1, s_{4.2}] & [s_8, s_9] \\ [s_{4.6}, s_{7.2}] & [s_7, s_9] & [s_{2.6}, s_{7.4}] & [s_7, s_8] \\ [s_1, s_{3.7}] & [s_6, s_7] & [s_{5.8}, s_9] & [s_5, s_7] \end{bmatrix}, & \tilde{R}^2 &= \begin{bmatrix} [s_{6.8}, s_9] & [s_7, s_9] & [s_1, s_{4.2}] & [s_7, s_8] \\ [s_{4.6}, s_{7.2}] & [s_6, s_8] & [s_{2.6}, s_{7.4}] & [s_8, s_9] \\ [s_1, s_{3.7}] & [s_5, s_6] & [s_{5.8}, s_9] & [s_6, s_7] \end{bmatrix}, \\ \tilde{R}^3 &= \begin{bmatrix} [s_{6.8}, s_9] & [s_8, s_9] & [s_1, s_{4.2}] & [s_7, s_9] \\ [s_{4.6}, s_{7.2}] & [s_6, s_8] & [s_{2.6}, s_{7.4}] & [s_8, s_9] \\ [s_1, s_{3.7}] & [s_5, s_7] & [s_{5.8}, s_9] & [s_6, s_8] \end{bmatrix}, & \tilde{R}^4 &= \begin{bmatrix} [s_{6.8}, s_9] & [s_7, s_8] & [s_1, s_{4.2}] & [s_6, s_8] \\ [s_{4.6}, s_{7.2}] & [s_7, s_9] & [s_{2.6}, s_{7.4}] & [s_7, s_8] \\ [s_1, s_{3.7}] & [s_6, s_8] & [s_{5.8}, s_9] & [s_5, s_7] \end{bmatrix}, \\ \tilde{R}^5 &= \begin{bmatrix} [s_{6.8}, s_9] & [s_6, s_8] & [s_1, s_{4.2}] & [s_7, s_8] \\ [s_{4.6}, s_{7.2}] & [s_7, s_9] & [s_{2.6}, s_{7.4}] & [s_7, s_8] \\ [s_1, s_{3.7}] & [s_5, s_7] & [s_{5.8}, s_9] & [s_6, s_7] \end{bmatrix}, & \tilde{R}^6 &= \begin{bmatrix} [s_{6.8}, s_9] & [s_7, s_9] & [s_1, s_{4.2}] & [s_8, s_9] \\ [s_{4.6}, s_{7.2}] & [s_8, s_9] & [s_{2.6}, s_{7.4}] & [s_7, s_9] \\ [s_1, s_{3.7}] & [s_5, s_8] & [s_{5.8}, s_9] & [s_6, s_7] \end{bmatrix}, \\ \tilde{R}^7 &= \begin{bmatrix} [s_{6.8}, s_9] & [s_8, s_9] & [s_1, s_{4.2}] & [s_7, s_9] \\ [s_{4.6}, s_{7.2}] & [s_6, s_8] & [s_{2.6}, s_{7.4}] & [s_7, s_8] \\ [s_1, s_{3.7}] & [s_5, s_7] & [s_{5.8}, s_9] & [s_7, s_8] \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

利用决策矩阵 \tilde{R}^1 中第 1 行的不确定语言评估信息进行集结,可以得到出第 1 位专家给出第 1 个候选企业的综合属性评估值:

$$\begin{aligned} \tilde{z}_1^1 &= w_1 \tilde{r}_{11}^1 \oplus w_2 \tilde{r}_{12}^1 \oplus w_3 \tilde{r}_{13}^1 \oplus w_4 \tilde{r}_{14}^1 \\ &= 0.2949 \times [s_{6.8}, s_9] \oplus 0.2804 \times [s_7, s_8] \oplus 0.2335 \times [s_1, s_{4.2}] \oplus 0.1912 \times [s_8, s_9] \\ &= [s_{5.732}, s_{7.598}]. \end{aligned}$$

类似地,有

$$\begin{aligned} \tilde{z}_1^2 &= [s_{5.540}, s_{7.688}], \tilde{z}_1^3 = [s_{5.820}, s_{7.879}], \tilde{z}_1^4 = [s_{5.349}, s_{7.407}], \tilde{z}_1^5 = [s_{5.259}, s_{7.407}], \tilde{z}_1^6 = [s_{5.732}, s_{7.879}], \\ \tilde{z}_1^7 &= [s_{5.820}, s_{7.879}]; \tilde{z}_2^1 = [s_{5.265}, s_{7.905}], \tilde{z}_2^2 = [s_{5.177}, s_{7.815}], \tilde{z}_2^3 = [s_{5.177}, s_{7.815}], \tilde{z}_2^4 = [s_{5.265}, s_{7.905}], \\ \tilde{z}_2^5 &= [s_{5.265}, s_{7.905}], \tilde{z}_2^6 = [s_{5.545}, s_{8.096}], \tilde{z}_2^7 = [s_{4.985}, s_{7.624}]; \tilde{z}_3^1 = [s_{4.287}, s_{6.493}], \tilde{z}_3^2 = [s_{4.198}, s_{6.212}], \\ \tilde{z}_3^3 &= [s_{4.200}, s_{6.685}], \tilde{z}_3^4 = [s_{4.287}, s_{6.773}], \tilde{z}_3^5 = [s_{4.200}, s_{6.493}], \tilde{z}_3^6 = [s_{4.200}, s_{6.773}], \tilde{z}_3^7 = [s_{4.389}, s_{6.685}]. \end{aligned}$$

根据各专家给出的第 1 个候选企业综合属性评估值,利用各专家的权重(为简单起见,设权重同样为 1/7),可以集结得到该候选企业的群体综合属性评估值:

$$\begin{aligned}\tilde{Z}_1 &= v_1 \tilde{z}_1^1 \oplus v_2 \tilde{z}_1^2 \oplus \dots \oplus v_7 \tilde{z}_1^7 \\ &= \frac{1}{7} [s_{5.732}, s_{7.598}] \oplus \frac{1}{7} [s_{5.540}, s_{7.688}] \oplus \frac{1}{7} [s_{5.820}, s_{7.879}] \oplus \frac{1}{7} [s_{5.349}, s_{7.407}] \oplus \\ &\quad \frac{1}{7} [s_{5.259}, s_{7.407}] \oplus \frac{1}{7} [s_{5.732}, s_{7.879}] \oplus \frac{1}{7} [s_{5.820}, s_{7.879}] \\ &= [s_{5.606}, s_{7.677}].\end{aligned}$$

类似地,可以得到:

$$\tilde{Z}_2 = [s_{5.240}, s_{7.866}], \quad \tilde{Z}_3 = [s_{4.252}, s_{7.866}].$$

根据式(9)可以构造综合比较矩阵:

$$\begin{bmatrix} 1 & 13.283/13.106 & 13.283/12.118 \\ 13.106/13.283 & 1 & 13.106/12.118 \\ 12.118/13.283 & 12.118/13.106 & 1 \end{bmatrix},$$

用 MATLAB 软件求得其最大特征值及相应的特征向量分别为

$$\lambda_{\max} = 3.0004, [0.5970, 0.5891, 0.5446], \lambda_{\max} < \lambda'_{\max} = 3.116,$$

通过一致性检验,排序向量为 $[0.3449, 0.3404, 0.3147]$.按其分量大小对候选企业进行排序,得到:

$$c_1 > c_2 > c_3.$$

所以,应当选择第 1 个候选企业为该零部件供应商.

3 结束语

零部件供应商的选择是中小企业产品制造的关键因素之一,为此,本文提出了不确定投票 AHP 群决策法.它采用多个专家不确定投票表决的方法来决定各评价指标间的相对重要程度比,从而构造判断矩阵.它继承了层次分析法的优点,并改进了层次分析法的评价指标两两比较的相对重要程度难以确定的缺点,同时又增添了群组决策的公正性和合理性.

另外,在质量等定性评价指标下,各专家给出各候选企业的属性值往往都是不确定语言值;而各企业报出的价格等定量指标下的属性值往往是区间数.为了统一处理,本文采用将区间数转换为不确定语言的处理方法.

实例也说明了该方法的合理性和科学性,对于中小企业零部件供应商选择具有较高的参考价值.

References:

- [1] Qian BB, Pan XH, Cheng YD. Evaluation system of partner selection in agile virtual enterprise. *China Mechanical Engineering*, 2000,11(4):397-401 (in Chinese with English abstract).
- [2] Li L, Xue JS, Zhu YL. Multi-Goal decision-making problems in the partner selection of virtual enterprises. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2002,8(2):91-94 (in Chinese with English abstract).
- [3] Zhang YD, Song HS, Xu JZ, Yang M. Application of AHP in separate place cooperative manufacturing partner selection. *Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique*, 2005,(7):111-112 (in Chinese with English abstract).
- [4] Ma YJ, Cai HG, Zhang S. Selection method for design partners in network extended enterprises. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2000,36(1):15-19 (in Chinese with English abstract).
- [5] Wang D, Yang XC, Wang GR, Yu G. Implementation of partner selection in virtual enterprise based on fuzzy-AHP. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2000,21(6):606-609 (in Chinese with English abstract).
- [6] Li LF, Tan JR, Zhao HX. Virtual enterprise partnership selection method based on AHP fuzzy preference. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2004,24(12):1-7 (in Chinese with English abstract).
- [7] Yue CY. *Decision Making Theory and Methodology*. Beijing: Science Press, 2003 (in Chinese).
- [8] Xu ZS. Study on the relation between two classes of scales in AHP. *Xitong Gongcheng Lilun Yu Shijian*, 1999,19(7):97-101 (in Chinese with English abstract).

- [9] Xu ZS. Uncertain Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Beijing: Tsinghua University Press, 2004 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [1] 钱碧波,潘晓弘,程耀东.敏捷虚拟企业合作伙伴选择评价体系研究.中国机械工程,2000,11(4):397-401.
 [2] 李莉,薛劲松,朱云龙.虚拟企业伙伴选择中的多目标决策问题.计算机集成制造系统-CIMS,2002,8(2):91-94.
 [3] 张永弟,宋海生,徐建中,杨梅.AHP在异地协同制造协作伙伴选择中的应用.组合机床与自动化加工技术,2005,(7):111-112.
 [4] 马永军,蔡鹤皋,张曙.网络联盟企业中的设计伙伴选择方法.机械工程学报,2000,36(1):15-19.
 [5] 王丹,杨晓春,王国仁,于戈.基于模糊层次分析法实现虚拟企业中的伙伴选择.东北大学学报(自然科学版),2000,21(6):606-609.
 [6] 李凌丰,谭建荣,赵海霞.基于 AHP 模糊优先权的虚拟企业伙伴选择方法.系统工程理论与实践,2004,24(12):1-7.
 [7] 岳超源.决策理论与方法.北京:科学出版社,2003.
 [8] 徐泽水.AHP中两类标度法的关系研究.系统工程理论与实践,1999,19(7):97-101.
 [9] 徐泽水.不确定多属性决策方法及应用.北京:清华大学出版社,2004.



刘电霆(1966 -),男,江西吉安人,博士生,高级工程师,主要研究领域为自动化技术,先进制造技术.



陶小梅(1980 -),女,讲师,主要研究领域为决策支持技术.



周德俭(1954 -),男,教授,博士生导师,主要研究领域为制造自动化.