

文章编号: 1001-0920(2012)10-0000-00

基于马氏距离的改进型 TOPSIS 在供应商选择中的应用

王先甲^{1,3}, 汪磊^{1,2}

(1. 武汉大学 经济与管理学院系统工程研究所, 武汉 430072; 2. 贵州大学 经济学院, 贵阳 550025;
3. 武汉科技大学 冶金工业过程系统科学湖北省重点实验室, 武汉 430081)

摘要: 由于传统 TOPSIS 的应用中各属性指标之间普遍存在线性相关, 导致运用欧氏距离公式计算各评价对象到正负理想解的距离失效. 本文运用马氏距离不受量纲影响以及消除变量间相关性的特性改进了传统 TOPSIS 的距离计算, 改进后的 TOPSIS 具有明显的科学性与合理性. 最后, 给出了该方法在供应商选择中的应用.

关键词: TOPSIS; 指标相关; 马氏距离; 供应商选择

中图分类号: TP

文献标志码: A

Applications of Topsis improved based on Mahalanobis distance in supplier selection

WANG Xian-jia^{1,3}, WANG Lei^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. College of Economics, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Hubei Province Key Laboratory of Systems Science in Metallurgical Process, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China. Correspondent: WANG Lei, E-mail: winrayo@sina.com)

Abstract: Because of the ubiquitous linear correlation between attribute indexes, applying the Euclidean distance formula to calculate the distance from each evaluation object to positive and negative ideal solution doesn't work. The distance calculation is improved by taking the advantages of Mahalanobis distance's unaffected by dimension, and it's immuned from indexes correlation. Topsis improved has the scientificalness and rationality. Finally, the concrete application of improved Topsis in the supplier selection is given.

Key words: TOPSIS; index correlation; Mahalanobis distance; supplier selection

1 引言

为了快速响应市场需求, 增强企业核心竞争力, 现代企业竞争模式已由企业内部的产品竞争演化为企业之间的供应链竞争. 通过上下游企业之间的委托代理建立高效稳定的伙伴关系是供应链企业获得持久竞争优势的关键. 然而, 节点企业之间由于目标不一致、信息不对称以及市场环境不可控等因素, 导致链式结构中的企业面临诸多潜在风险. 其中, 供应商选择是控制事前风险、完善风险识别、降低系统风险的重要环节, 对供应链模式的成功实施意义重大.

供应商选择本质上是一个多属性决策问题, 评价方法是影响供应商选择的重要外生变量. 国外学者对供应商的评价方法侧重于组合评价方法的应用. 文献[1]综合运用 TOPSIS 与模糊集合论分析了群决

策环境中的供应商选择问题, 并对供应商进行排序; [2]运用 DEA 方法, 根据最终效率得分将供应商划分为有效率和无效率两部分; 然后, 基于供应商绩效数据应用人工神经网络训练决策树; 最后, 运用受过训练的决策树去评价新的供应商. [3]通过定义主属性和子属性指标, 构建层次递阶结构模型, 并综合运用模糊数学理论与层次分析法选择满足决策标准的供应商.

国内学者除了将 TOPSIS 与其他评价方法进行组合运用外, 还致力于 TOPSIS 的改进. 文献[4]引入决策单元的模糊偏好, 提出多指标决策中基于模糊偏好的 TOPSIS 新模型, 并给出一种通过主观模糊偏好与客观决策矩阵信息相结合的求解权重的方法; [5]利用决策者对属性的效用评价替代方案的原始属

收稿日期: 2011-03-24; 修回日期: 2011-09-04.

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(71071119).

作者简介: 王先甲(1957—), 男, 教授, 博士生导师, 从事博弈论、系统工程与拍卖理论等研究; 汪磊(1974—), 男, 副教授, 博士生, 从事系统评价、拍卖理论与物流工程的研究.

性数据,并用模糊数替代精确值反映决策者对效用值的理解模糊不确定性,同时关注决策者对最佳决策方案属性效用的综合性、均衡性考虑; [6] 将理想点与负理想点视为系统中相互对立的集合,在考察目标方案与正负理想点的联系度时,充分考虑了对立集合的存在,并通过引入联系向量距离的概念,计算相对贴近度.

与其他评价方法相比, TOPSIS 能集中反映评价对象的总体信息,客观反映各评价对象之间的真实差距,具有基本原理简单,几何意义直观,对样本数据无特殊要求,便于理解运用等优点. 尽管国内外学者在供应商选择以及 TOPSIS 的改进方面进行了有意义的研究,但以 TOPSIS 为基础的诸多应用、改进或者组合等研究忽略了这样一个客观事实,即属性指标之间的线性相关使得应用欧氏距离公式求解各评价对象到正负理想解的距离不再合理. 建立在该缺陷基础上的有关 TOPSIS 的应用、改进或者组合等研究随着属性指标之间线性相关程度的加大而失去评价的客观性. 因此,本文认为改进传统 TOPSIS 的距离计算是对 TOPSIS 进行其他改进或者应用的基础. 本文在分析该缺陷的基础上,应用马氏距离不受量纲影响以及消除变量间相关性的优良特性改进了传统 TOPSIS 的距离计算,并将改进后的 TOPSIS 评价结果与其他方法所得的结果进行对比分析.

2 传统 TOPSIS 法的缺点分析

2.1 TOPSIS 法介绍

TOPSIS 是 technique for order preference by similarity to ideal solution 的英文缩写,由 Hwang 等^[7]于 1981 年首次提出的一种适用于根据多属性指标对多个评价对象进行比较选择的分析方法. 该方法构造了 n 维属性空间的正理想解与负理想解,通过求解各评价对象与正负理想解之间的欧氏距离,测度该评价对象在靠近“先进”(正理想解)的同时远离“落后”(负理想解)的叠加状态(相对贴近度),并以相对贴近度作为最后度量评价对象的综合指标. 自 TOPSIS 提出以后,其应用范围不断扩大. 文献 [8] 将其应用于敏捷制造过程中夹具的选择; [9] 应用人工神经网络技术解决了 TOPSIS 中属性指标的客观赋权; [10] 应用 TOPSIS 解决了模糊环境下的多人多准则决策问题; [11] 将其应用扩展到多目标非线性规划问题.

2.2 TOPSIS 法的基本原理

TOPSIS 法的应用步骤如下:

Step 1: 构建样本数据的评价矩阵

$$A = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = [x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_n],$$

该矩阵表示有 m 个评价对象, n 个属性指标. 其中, x_{ij} 表示第 i ($i = 1, 2, \dots, m$) 个评价对象的第 j ($j = 1, 2, \dots, n$) 个属性指标所对应的原始指标值(关于 i 的取值范围后面不再说明).

Step 2: 对矩阵 A 进行归一化处理,同时消除不同属性指标之间的量纲与数量级影响,从而解决属性指标不可公度问题,即

$$r_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2},$$

其中 r_{ij} 表示第 i 个评价对象在 j 个属性指标下所对应的经过归一化处理后的指标值.

Step 3: 将权重矩阵 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$ 右乘评价矩阵 A 得到价值矩阵

$$V = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} = [v_1 \ v_2 \ \cdots \ v_n].$$

其中 $W_i = (0, \dots, 0, w_i, 0, \dots, 0)^T$, 权重满足 $w_i > 0$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Step 4: 确定正理想解 S^+ 与负理想解 S^- , 即

$$S^+ = \left\{ \left(\max_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j \in J^+ \right), \left(\min_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j \in J^- \right) \right\} = \{s_1^+, s_2^+, \dots, s_j^+, \dots, s_n^+\}, \quad (1)$$

$$S^- = \left\{ \left(\min_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j \in J^+ \right), \left(\max_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j \in J^- \right) \right\} = \{s_1^-, s_2^-, \dots, s_j^-, \dots, s_n^-\}. \quad (2)$$

其中: $J^* = \{j = 1, 2, \dots, n \text{ 且第 } j \text{ 个属性指标属于效益型指标}\}$, 效益型指标即指标值越大所得绩效越高的指标; $J^- = \{j = 1, 2, \dots, n \text{ 且第 } j \text{ 个属性指标属于成本型指标}\}$, 成本型指标即指标值越小所得绩效越高的指标.

Step 5: 分别计算第 i 个评价对象向量到正理想解 S^+ 的距离 D_i^+ 以及到负理想解 S^- 的距离 D_i^- , 即

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - s_j^+)^2}, \quad (3)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - s_j^-)^2}. \quad (4)$$

Step 6: 计算各评价对象的相对贴近度

$$C_i^* = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-). \quad (5)$$

Step 7: 根据 C_i^* 的大小进行排序, 显然 $C_i^* \in [0, 1]$, C_i^* 值越大, 代表评价对象越优.

2.3 TOPSIS 法的缺点分析

由上述 TOPSIS 应用步骤中的 Step 5 可知, TOPSIS 法中对欧氏距离公式的直接应用意味着, n 个不同的属性指标构成的列向量线性无关, 成为度量该线性空间的一组基, 在此空间中使用欧氏距离公式求解距离具有合理性 (见式 (3) 和 (4)). 在实际应用中, 由于属性指标之间易于存在线性相关使得 n 维属性指标构成的不再是 n 维欧氏空间, 在此情形下, 继续使用欧氏距离公式不再科学合理.

TOPSIS 的几何意义如图 1 所示. 为了简单起见, 考虑有两个属性指标的决策问题. 假定 O 点和 B 点分别代表负理想解 S^- 和正理想解 S^+ . v_1 和 v_2 表示 x_1 和 x_2 经过加权的规范化属性, 分别对应着二维属性空间的横轴和纵轴, 且均为效益型指标. 尽管 $D_1^+ = D_2^+$, 但由于 $D_1^- > D_2^-$, 表明 A_1 更加远离负理想解 S^- , 因此评价对象 A_1 优于 A_2 . 由于假定 n 个不同的属性指标构成 n 维欧氏空间, 显然坐标轴 v_1 和 v_2 对欧氏距离的贡献度是等同的, 并且坐标轴相互垂直. “贡献度等同”表示 v_1 和 v_2 的量纲相同, “坐标轴垂直”意味着 n 个不同的属性指标构成的列向量线性无关, 从而可以构成度量该线性空间的一组基, 事实上成为一个欧氏空间的坐标系.

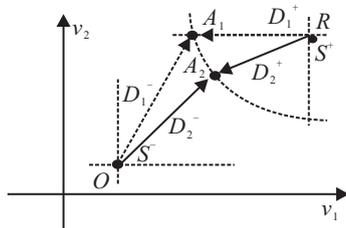


图 1 属性指标不相关时欧式距离示意图

供应商评价指标是从不同维度对供应商综合实力的刻画, 不同属性指标的量纲基本不同, 如价格的单位是元, 而交货时间是小时. 此外, 不同属性指标之间容易存在线性相关, 如价格与供货时间, 价格越高, 供货时间越短. 量纲不一致以及线性相关前提下的距离计算缺陷是 TOPSIS 应用中急需改进的问题. 图 1 属性指标不相关时欧式距离示意图

3 基于马氏距离的 TOPSIS 改进

供应商评价指标体系中不同属性指标间存在的线性相关使得传统 TOPSIS 中应用欧氏距离求解

相对贴近度的方法失效, 这一点为众多 TOPSIS 的使用者所忽略. 当不同属性变量之间存在线性相关, 即 $\text{cov}(v_i, v_j) \neq 0 (i \neq j)$, 意味着 n 个不同的属性指标构成的列向量无法构成度量该线性空间的一组基, 使得欧氏距离在求解评价对象到正负理想解的距离公式不再有效.

尽管运用因子分析、主成分分析等统计方法可以消除各属性指标之间的线性相关, 但由于因子分析法存在信息量损失 (不大于 15%), 且要求 KMO 统计量宜大于 0.7^[12], 导致该方法不一定能适用所有的样本数据. 在提取 n 个主成分的前提下主成分分析虽然不存在信息损失, 但通过方差最大化旋转后得到的 n 个主成分不再是原始指标, 每个主成分是原始指标的线性组合^[12], 各主成分需要进行内涵分析后命名, 容易导致主成分含义不明显, 指标解释能力降低. 本文引入的马氏距离公式既不存在信息损失, 且保留了原始指标的准确含义, 又保持了与欧氏距离公式的同构性, 是欧氏距离的有效扩展.

马氏距离是印度统计学家 Mahalanobis 于 1936 年提出的一种统计距离. 由于该距离独立于测量尺度, 不受坐标之间的量纲影响, 排除了变量之间相关性的干扰 (即消除了属性指标之间的线性相关). 假定 $A_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ 表示第 i 个供应商所对应的属性值的空间坐标, $S^+ = \{s_1^+, s_2^+, \dots, s_n^+\}$, $S^- = \{s_1^-, s_2^-, \dots, s_n^-\}$ 分别表示正负理想解所对应的空间坐标, 当给定原始数据后, 假定 S^+ 与 S^- 的坐标是固定的, 而 A_i 的坐标是变化的. $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2$ 表示 n 个属性变量 v_1, v_2, \dots, v_n 的 m 次观测的样本方差. 为给出不同坐标的合理权重, 用坐标标准离差除以每个坐标, 得到标准化坐标. 其中 Σ^{-1} 是 n 个属性变量 v_1, v_2, \dots, v_n 的协方差矩阵 Σ 的逆矩阵^[12]. 由此可以证明协方差矩阵 Σ 对一切线性变换是不变的, 故不受指标量纲的影响, 同时还能消除属性指标间的相关性.

结合上述信息, 定义第 i 个供应商 A_i 到 S^+ 与 S^- 的马氏距离分别为

$$d(A_i, S^+) = [(v_i - S^+)^T \Sigma^{-1} (v_i - S^+)]^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

$$d(A_i, S^-) = [(v_i - S^-)^T \Sigma^{-1} (v_i - S^-)]^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

其中 Σ^{-1} 为对称的正定矩阵, 即

$$\Sigma^{-1} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}.$$

上述协方差矩阵逆矩阵 Σ^{-1} 揭示了马氏距离与欧氏距离之间的相互关系. 1) 若 $\Sigma^{-1} = I$ (单位

矩阵) 则表明各坐标的波动程度是相同的, 马氏距离退化为欧氏距离. 2) 若 $\Sigma^{-1} = \text{diag}(1/\sigma_1^2, \dots, 1/\sigma_i^2, \dots, 1/\sigma_m^2)$ 为加权距离, 其中 $\sigma_i^2 = \text{var}(x_{ij})$ 中至少有一个不相同, 则表明各坐标的波动程度是不同的, 此时有

$$d(A_i, s^+) = \sqrt{\frac{(x_{i1} - s_1^+)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(x_{i2} - s_2^+)^2}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{(x_{in} - s_n^+)^2}{\sigma_n^2}},$$

$$d(A_i, s^-) = \sqrt{\frac{(x_{i1} - s_1^-)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(x_{i2} - s_2^-)^2}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{(x_{in} - s_n^-)^2}{\sigma_n^2}}.$$

马氏距离等价于标准化的欧氏距离, 消除了量纲不一致的影响. 3) 若 $\Sigma^{-1} = [\text{cov}(x_i, x_j)]_{n \times n}^{-1}$, 则表明各坐标的波动程度是不同的且指标之间存在线性相关, 马氏距离同时解决属性指标间量纲不一致以及线性相关问题. 由上述分析可知, 欧氏距离是马氏距离的一个特例, 马氏距离是欧氏距离的有效扩展, 在 TOPSIS 中的应用更具有一般性.

4 算例分析

4.1 改进型 TOPSIS 的计算过程

为了使分析结果具有可比性, 且考虑到 Σ^{-1} 的存在性与正定性, 本文选取文献 [13] 中的数据进行实例分析. 选取的供应商评价指标包括产品价格 T_1 、售后服务 T_2 、地理位置 T_3 、产品合格率 T_4 、新产品开发率 T_5 和供应能力 T_6 . 有 6 个供应商 A_1, A_2, \dots, A_6 可供选择. 供应商评价指标的原始数据如表 1 所示 [13].

表 1 供应商选择的评价指标

供应商	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
A_1	335	3.2	15	0.80	0.12	230
A_2	268	1.4	37	0.92	0.25	130
A_3	304	1.9	22	0.99	0.09	220
A_4	270	2.0	16	0.98	0.35	180
A_5	310	0.8	26	0.86	0.20	150
A_6	303	2.7	10	0.95	0.19	170

根据表 1 中的原始数据运用 Matlab 7.0 求解各属性指标之间的相关系数矩阵, 如表 2 所示.

表 2 各属性指标之间的相关系数矩阵

参数	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
T_1	1	0.461	-0.448	-0.664	-0.786	0.639
T_2	0.461	1	-0.735	-0.181	-0.302	0.682
T_3	-0.448	-0.735	1	-0.039	0.118	-0.586
T_4	-0.664	-0.181	-0.039	1	0.307	-0.118
T_5	-0.786	-0.302	0.118	0.307	1	-0.593
T_6	0.639	0.682	-0.586	-0.118	-0.593	1

由表 1 和表 2 可知, 各指标之间存在较强的相关性, 其中 T_1 与 T_5 之间的相关程度达到 -0.786 . 显然, 在应用 TOPSIS 法进行评价的过程中, 直接使用欧氏距离求解将会导致评价结果不合理.

供应商评价指标体系中成本型指标集合 $J^- = \{T_1, T_2, T_3\}$, 效益型指标集合 $J^+ = \{T_4, T_5, T_6\}$. 由于马氏距离公式本身通过构造标准化处理解决指标间量纲不一致问题, 独立于测量尺度, 不受量纲影响, 因此, 无须对原始数据矩阵进行归一化处理, 由此可略去 Step 2. 马氏距离的标准化处理使方差越大的属性指标其距离权重越小, 从而将外在的指标赋权内化于马氏距离的公式之中, 无须对原始矩阵中的属性指标进行单独的外在赋权, 由此可略去 Step 3, 直接进入 Step 4. 根据表 1 中的相关信息, 按照式 (1) 和 (2) 可得出正负理想解

$$s^+ = [268, 0.8, 10, 0.99, 0.35, 230],$$

$$s^- = [335, 3.2, 37, 0.8, 0.09, 130].$$

运用 Matlab 7.0 求解协方差矩阵的逆矩阵 Σ^{-1} , 然后按式 (6) 和 (7) 分别求出各供应商到正负理想解的马氏距离, 最后再利用式 (5) 求出各供应商的相对贴程度, 如表 3 所示.

表 3 各供应商的相对贴程度及排名

贴程度	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
D_i^+	3 144.85	1 165.38	1 965.25	501.42	2 657.91	1 878.30
D_i^-	1 038.65	3 016.59	2 209.95	3 676.82	1 515.72	2 295.58
C_i^*	0.2483	0.7213	0.5293	0.8800	0.3632	0.5500
排名	6	2	4	1	5	3

由表 3 可见, 各供应商的排序为方案排列顺序为

$$A_4 \succ A_2 \succ A_6 \succ A_3 \succ A_5 \succ A_1, \quad (8)$$

其中 (\succ 表示“优于”).

4.2 权重向量分析

文献 [13] 中的属性指标权重向量为

$$W =$$

$$[0.11, 0.16, 0.15, 0.07, 0.14, 0.12, 0.10, 0.09, 0.06]^T;$$

文献 [8] 中的属性指标权重向量为

$$W =$$

$$[0.108\ 395, 0.103\ 259, 0.112\ 678, 0.109\ 994, 0.111\ 738, 0.109\ 713, 0.112\ 958, 0.115\ 328, 0.115\ 950]^T.$$

文献 [13] 中指标权重属于主观赋权, 本文给定的灰关联分析的分辨系数取 $\xi = 0.5$, 缺乏科学依据, 并且反映决策者对位置和形状的偏好程度的系数 α_1 与 α_2 的具体取值也缺乏可操作性. 文献 [14] 中指标权重属于客观赋权, 但由权重的具体取值可知, 每个权重值均略大于 0.1, 近乎相等, 从而形成对整体权重的稀释和均分, 缺乏对指标重要程度的区分. 本文中的指标权重是隐形的, 内化于马氏距离公式之中, 属于数据驱动型客观赋权. 该权重清晰地刻画了不同属性指标的变异性和重要性, 它由数据本身的特征所决定, 没有人为因素影响, 具有科学性和客观性.

4.3 评价结果分析

通过对比分析文献[13-14]以及本文中的供应商排名,如表4所示,从总体上看,文献[13-14]以及本文中的供应商排名比较体现了一致性与波动性相结合的特征.其中:3篇文献中排在第1名与最后一名的供应商均为 A_4 与 A_1 ,表明3篇文献对端点位置的供应商排名没有产生偏差,体现了排序结果一定程度上的一致性;对于中间位置的供应商排名则体现了较明显的波动性,如文献[13]中排在第2位的 A_5 在本文中则排在第5位,这主要是文献[13]中的主观赋权及其误用欧氏距离公式造成的.文献[13]与[14]中均排在第5位的 A_2 在本文中排在第2位,这主要是由于误用欧氏距离公式求解距离造成的.此外,3篇文献之所以关于供应商排名整体波动幅度不大,主要原因是各属性指标间的相关程度并不十分显著(见表2),随着属性指标间相关程度加大,本文与文献[13-14]中供应商排名的波动幅度会不断扩大,同时,本文中供应商最终评价结果的合理性也越来越显著.

表 4 3 篇文献中供应商排名比较

文献	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
[13]	6	5	4	1	2	3
[14]	6	5	3	1	4	2
本文	6	2	4	1	5	3

5 结 论

本文通过引入马氏距离改进了传统 TOPSIS 的距离计算,既简化了 TOPSIS 的使用步骤,扩展了 TOPSIS 的使用范围,又综合解决了属性指标量纲不一致、属性指标相关性以及指标赋权等问题.通过与文献[13-14]的对比分析,表明基于马氏距离的 TOPSIS 在供应商选择中的应用是有效的,其评价结果客观合理,在综合评价实践中具有一定的推广性.

使用过程中注意到该方法受到 Σ^{-1} 的存在性与正定性的双重约束,如果 Σ^{-1} 不存在,或者 Σ^{-1} 存在但不满足正定性要求,则该方法不能使用.此外,随着属性指标间相关程度的加大,基于马氏距离的 TOPSIS 在供应商评价中的合理性会更加显著,关于二者之间的定量分析将是今后进一步展开研究的内容.

参考文献(References)

- [1] Fatih Emre Boran, Serkan Genc. A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method[J]. Expert Systems with Applications, 2009, (36): 11363-11368.
- [2] Desheng Wu. Supplier selection: A hybrid model using DEA, decision tree and neural network[J]. Expert Systems with Applications, 2009, (36): 9105-9112.
- [3] Ozcan Kilincci, Suzan Aslı Onal. Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company[J]. Expert Systems with Applications, 2011, (38): 9656-9664.
- [4] 余雁, 梁樑, 蒋跃进, 等. 一种新的基于模糊偏好的 TOPSIS 改进方法[J]. 系统工程, 2004, 8(22): 87-90. (Yu Y, Liang L, Jiang Y J, et al. A new modified approach of TOPSIS based on fuzzy preference[J]. Systems Engineering, 2004, 8(22): 87-90)
- [5] 李锋, 魏莹. 一种改进的基于效用理论的 TOPSIS 决策方法[J]. 系统管理学报, 2008, 1(17): 82-86. (Li F, Wei Y. An improved TOPSIS method based on utility theory[J]. J of Systems & Management, 2008, 1(17): 82-86.)
- [6] 张目, 周宗放. 一种基于联系度的改进 TOPSIS 法[J]. 系统工程, 2008, 8(26): 102-107. (Zhang M, Zhou Z F. An improved TOPSIS method based on connection degree[J]. Systems Engineering, 2008, 8(26): 102-107.)
- [7] Hwang C L, Yoon K. Multiple attribute decisionmaking: Methods and applications[M]. New York: Springer-Verlag, 1981.
- [8] Agrawal V P, Kohli V, Gupta S. Computer aided robot selection: The multiple attribute decision making approach[J]. Int J of Production Research, 1991, 29(8): 1629-1644.
- [9] Kim G, Park C, Yoon K P. Identifying investment opportunities for advanced manufacturing system with comparative-integrated performanc measurement[J]. Int J of Production Economics, 1997, (50): 23-33.
- [10] Chen C T. Extension of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, (114): 1-9
- [11] Abo-Sinna M A, Amer A H. Extensions of TOPSIS for multi-objective large-scale nonlinear programming problems[J]. Applied Mathematics and Computation, 2005, 1(162): 243-256.
- [12] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008. (He X Q. Multivariate statistical analysis[M]. Beijing: People's University of China Press, 2008.)
- [13] 孙晓东, 焦玥. 基于灰色关联度和理想解法的决策方法研究[J]. 中国管理科学, 2005, 13(4): 63-68. (Sun X D, Jiao Y. Research on decision-making method based on gray correlation degree and TOPSIS[J]. Chinese J of Management Science, 2005, 13(4): 63-68.)
- [14] 王硕, 杨善林. 基于投影寻踪的组合评价方法研究[J]. 中国工程科学, 2008, 10(8): 63-68. (Wang S, Yang S L. Combinational evaluation method based on projection pursuit algorithm[J]. China Engineering Science, 2008, 10(8): 63-68.)