

文章编号: 1001-0920(2003) 04-0456-04

基于熵权系数与 TOPSIS 集成评价决策方法的研究

陈 雷, 王延章

(大连理工大学 管理学院, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 对于信息系统方案评价这种复杂问题提出一种新的方法, 以避免主观判断的不确定性和随意性。针对传统信息系统项目评标中单纯由主观判断确定指标权重方法的不足, 提出了将主观判断与客观情况相结合、定性定量相结合的熵权法来确定指标的权重系数, 进而将 TOPSIS 法与熵权系数综合集成进行合理方案的评价。将该方法应用于评标过程的实践, 取得了较为满意的结果。

关键词: 熵权系数; TOPSIS; 信息系统集成; 评价; 决策

中图分类号: N945. 16

文献标识码: A

Research on TOPSIS integrated evaluation and decision method based on entropy coefficient

CHEN Lei, WANG Yan-zhang

(School of Management, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: A new approach to the complex problem of the rationality in evaluating information system integration is proposed to avoid non-determinacy and optional judgements resulted from subjective opinions. To ameliorate the inefficiency of means to decide proportion coefficient in the course of the evaluation of information system integration, subjective opinions are combined with objective situations and the quantitative analyses are combined with qualitative analyses. The weight coefficient is given by means of entropy coefficient and TOPSIS method for the first time. The proposed method is applied to evaluating information system integration solutions and satisfactory results are obtained.

Key words: Entropy coefficient; TOPSIS; Information system integration; Evaluation; Decision making

1 引 言

随着信息化步伐的加快, 越来越多的电子商务、电子政务和办公自动化等方面的建设项目需要进行方案的公开招标。为在招标过程中有效地降低风险, 必须采用科学合理的方法进行评标, 真正评出最合理、最有竞争力的中标者。传统的评标方法是依靠组织者和专家的主观判断来确定各个指标的权重, 定性因素占主要部分, 往往使得不同的专家在同一个

指标上给出的分值出入很大, 结果由于决策不当而造成浪费或根本不能完成任务。因此需要从理论和实践上对评标方法进行研究和探索。

本文将专家的主观判断与信息系统集成方案的客观情况相结合, 提出用确定权重的优化熵权系数法和理想法(TOPSIS)来进行评标, 所要解决的问题是通过科学的权重系数来调整主观偏差, 定量地确定投标者在价格、方案、集成创新、系统性能、成熟

收稿日期: 2002-06-26; 修回日期: 2002-09-18。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60074038)。

作者简介: 陈雷(1964—), 男, 辽宁新民人, 博士生, 从事计算机网络、信息系统评价的研究; 王延章(1952—), 男, 辽宁开原人, 教授, 博士生导师, 从事计算机网络、电子政务等研究。

度、服务、人力资源等一系列指标的权重。通过熵计算出权重系数并同时确定接近的最优值, 再将熵权系数应用到理想法得出最接近的理想解。

2 熵权法对权重系数的确定

信息系统集成项目方案评价属多目标决策问题, 需要对所有投标者的方案是否合理、是否有集成创新、资质是否响应等进行定量综合分析对比, 从中选择方案合理、性能价格比高、服务优良的中标者。

熵(Entropy) 原本是热力学的概念, 但自从数学家香农将其引进通讯工程并进而形成信息论后, 熵在工程技术、管理科学乃至社会经济等领域得到广泛的应用^[1]。熵是对系统状态不确定性的一种度量, 当系统处于 n 种不同状态, 每种状态出现的概率为 $P_i(i = 1, 2, \dots, n)$ 时, 评价该系统的熵为

$$E = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \tag{1}$$

其中 P_i 满足

$$0 < P_i < 1, \sum_{i=1}^n P_i = 1$$

熵具有极值性, 也就是说当系数状态为等概率, 即 $P_i = 1/n(i = 1, 2, \dots, n)$ 时, 其熵值最大。

$$E(P_1, P_2, \dots, P_n) \\ E\left(\frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}\right) = \ln n$$

本文利用熵的概念来衡量某一评价指标对信息系统集成方案优劣的影响程度^[2]。设某一信息系统集成项目的评价指标体系中有 m 个指标, 投标单位有 n 个。 N 个投标单位对应于 m 个指标的指标值构成评价指标决策矩阵 $Y = (y_{ij})_{n \times m}$, 即

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nm} \end{bmatrix}$$

其中元素 y_{ij} 表示方案 i 的第 j 个指标。对价格指标而言, Y 越小越好; 对性能等指标而言, Y 越大越好。记 Y 中每列的最优值为 y_j^* , 即

$$y_j^* = \begin{cases} \max\{y_{ij}\} \\ \min\{y_{ij}\} \end{cases}$$

记 y_{ij} 与 y_j^* 的接近程度

$$D_{ij} = \begin{cases} y_{ij}/y_j^*, & y_j^* = \max\{y_{ij}\} \\ y_j^*/y_{ij}, & y_j^* = \min\{y_{ij}\} \end{cases}$$

对 D_{ij} 进行归一化处理, 记

$$d_{ij} = \frac{D_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{ij}}$$

以 m 个评价指标评价 n 家投标单位为条件, 定义第 j 个评价指标的熵值

$$E_j = - \sum_{i=1}^n \frac{d_{ij}}{d_j} \ln \frac{d_{ij}}{d_j} \tag{2}$$

其中

$$d_j = \sum_{i=1}^n d_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

由熵的极值性可知, d_{ij}/d_j 的值越接近于相等, 熵的值越大, 当 d_{ij}/d_j 的值完全相等时, 熵 E_j 达到最大, 为 $E_{\max} = \ln m$ 。

不难看出, 指标 j 的熵 E_j 越大, 说明各投标单位在该指标上的取值与该指标的最优值间的差异程度越小, 即越接近最优值。需要说明的是, 决策者对差异程度的大小有不同的认同度。如果认为差异程度越小的指标越重要, 则可将熵值进行归一化后作为该指标的客观权重(熵值小表示指标的不确定性强); 反之, 如果认为差异程度越大的指标越重要, 则可用熵的互补值进行归一化处理作为指标的客观权重。这里假定差异越大的指标越重要。用 e_j 对式(2)进行归一化处理, 得表征评价指标 j 的评价决策重要性的熵值

$$e_j = - \frac{1}{\ln m} E_j$$

对 $1 - e_j$ 归一化, 得到指标 j 的客观权重^[1,2]

$$\theta_j = \frac{1 - e_j}{m - \sum_{j=1}^m e_j} \tag{3}$$

其中

$$0 < \theta_j < 1, \sum_{j=1}^m \theta_j = 1$$

θ_j 的确定取决于某信息系统集成方案中各家投标单位的固有信息, 因此称为客观权重。同一评价指标 j 对不同的投标单位可能有不同的客观权重 θ_j 。为了全面反映评价指标的重要性, 并考虑到专家的经验判断力, 将专家对各指标给出的主观权重 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ 与客观权重相结合, 最终确定各指标的权重

$$\lambda_j = \theta_j \omega_j / \sum_{j=1}^m \theta_j \omega_j \tag{4}$$

以此作为 TOPSIS 评价的权重系数^[3]。对于第 i 家投标单位, 可以得出一个初始评议值

$$w_i = 1 - \sum_{j=1}^m \lambda_j (d_{ij}^* - d_{ij}) \tag{5}$$

其中 d_{ij}^* 为 $d_{ij}(i = 1, 2, \dots, n)$ 中的最优值。则 w_i 较大的投标单位其综合评议值较高。

3 运用 TOPSIS 法确定最优方案

采用理想法求解多目标决策问题是一种非常有效的方法^[4]。它概念简单,但在使用时,需要在目标空间中定义一个测度,以度量某个解靠近理想解和远离负理想解的程度。其中心思想是先选定一个理想解和一个负理想解,然后找出与理想解距离最近且与负理想解距离最远的方案,作为最优方案。

TOPSIS 法中的距离是指(加权)欧氏距离。理想解是一个设想的最好解(方案),它的各个指标值都达到各候选方案中最好的值;负理想解是一个设想的最差解,它的各个指标值都达到各候选方案中最差的值。现有的 n 个方案中一般并没有这种理想解和负理想解,但通过设定理想解和负理想解,每个实际的解与理想解和负理想解进行比较,如果其中有一个解最靠近理想解,同时又最远离负理想解,则该解应是 n 个方案中最好的解^[3]。用这种方法可对所有的方案进行排队。

一般说,要找到一个距离理想解最近而又距离负理想解最远的方案是比较困难的。为此,引入相对贴近度的概念来权衡两种距离的大小,判断解的优劣。对上述 n 个方案和 m 个指标所确定的评价决策矩阵 $Y = (y_{ij})_{n \times m}$ 进行规范化,得到规范化决策矩阵 $Z = (z_{ij})_{n \times m}$ 。 Z 矩阵的元素 z_{ij} 为

$$z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{ij}^2}}$$
$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

计算加权规范决策矩阵 X , 其中元素 x_{ij} 为

$$x_{ij} = \lambda_j z_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

式中 $\lambda_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 是第 j 个指标由式(4)得到的权重。

解 X_i 到理想解 X^* 的距离

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_j^*)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6a)$$

其中: x_{ij} 是解 X_i 的第 j 个分量,即第 j 个指标规范化后的加权值; x_j^* 是理想解 X^* 的第 j 个分量。类似地,定义解 X_i 到负理想解的距离

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6b)$$

并且定义解 X_i 到理想解的相对贴近度

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}$$

当 C_i^* 的值越接近 1, 则相应的方案越应排在前面。

最终的评议值由式(5)和(7)的线性组合确定^[5],即

$$F_i = k(w_i + C_i^*), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

其中 k 为对最终数据的放大系数。

4 案例研究

信息系统集成项目的指标体系,是通过广泛的调查研究和系统分析,运用改进的 Delphi 法经信息收集、分析和专家咨询而确定的。在实际评标过程中,指标可能很多,而且随着系统的不同会有所改变。为节省篇幅,本文仅给出有代表性的指标示例。

设某一系统集成项目参加投标的单位为 4 个,重点对以下 6 个指标进行评定,即评价对象的指标集合^[6]

$$O = \{ \text{总价, 人力, 方案, 设备,} \\ \text{公司级别, 能力成熟度} \}$$

投标单位的各项指标数量与分值如表 1 所示。

表 1 投标单位的各项指标数量与分值

单位	总价	人力	方案	设备级别	公司级别	能力成熟度
A	220	6	30	10	10	5
B	190	8	25	9	8	3
C	180	8	28	7	7	4
D	170	7	23	8	7	2

设各个指标的主观权重为 0.350, 0.100, 0.200, 0.200, 0.100, 0.050。根据熵权法得到的熵权系数如表 2 所示。

表 2 根据熵权法得到的熵权系数

	总价	人力	方案	设备级别	公司级别	能力成熟度
e_j	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.12
	44	05	40	79	59	07
θ_j	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
	86	79	67	74	70	25
ω_j	0.45	0.05	0.15	0.20	0.10	0.05
	00	00	00	00	00	00
λ_j	0.37	0.10	0.19	0.19	0.09	0.04
	24	03	91	99	98	85

表 3 最终的排序结果

单位	w_i	S_i^*	S_i^-	C_i^*	F_i
A	0.994 7	0.048 3	0.051 4	0.515 6	1.510 3
B	0.992 0	0.033 9	0.040 6	0.544 8	1.536 8
C	0.996 5	0.042 4	0.044 0	0.509 1	1.505 6
D	0.992 1	0.044 9	0.048 1	0.517 5	1.509 6

最终的排序结果如表 3 所示。根据 F_i 值得到对 4 家投标单位的排序为 B, A, D, C。

5 结 语

本文提出一种基于熵权系数与 TOPSIS 集成评价决策方法。该方法曾应用于多家招标公司的招标项目, 取得了满意的结果。信息系统建设方案的评价是非常复杂的问题, 评价过程包括对投标者的各种资质进行认证等环节, 并辅以其他方法来实现最终的中标方案。在实际的评价过程中, 会根据不同的项目内容选择一些重点指标进行评价。本文方法对于更为复杂的多级组合评价还没有应用, 因此对多级评价还需要进一步研究。

参考文献(References):

[1] 张世英, 张文泉. 技术经济预测与决策[M]. 天津: 天津大学出版社, 1994. 196-200.

[2] 杜纲, 岳松涛. 房地产开发投资决策的熵权系数优化模型[J]. 数理统计与管理, 1999, 18(1): 45-49.

(Du Gang, Yue Songtao. An optimization model with entropy coefficients of investment decision in real estate [J]. *Application of Statistics and Management*, 1999, 18(1): 45-49.)

[3] Evangelos Triantaphyllou. *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study* [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. 18-22.

[4] 戴文战. 一种动态多目标决策模型及其应用[J]. 控制与决策, 2000, 15(2): 197-200.

(Dai Wenzhan. A new kind of model of the dynamic multiple attribute decision making based on new effective function and its application[J]. *Control and Decision*, 2000, 15(2): 197-200.)

[5] Ma J, Fan Z P, Huang L H. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights[J]. *European J of Operational Reseach*, 1999, 112(2): 397-404.

[6] 徐维祥, 张全寿. 信息系统项目评价 DHGF 集成法[J]. 计算机工程与应用, 2000, 5(1): 60-62.

(Xu Weixiang, Zhang Quanshou. A meta-synthesis of DHGF for evaluating information system project [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2000, 5(1): 60-62.)

(上接第 455 页)

$$V_{(13)} = -\frac{t^2}{4}x_1^6 - \frac{t^2}{4}x_2^6 - \frac{t^2}{4}x_3^6 = -\frac{t^2}{4}x^6$$

因而定理 2 中的条件 1) 满足, 不难验证定理 2 中其余条件也满足。故系统(12) 的零解是一致渐近稳定的。

5 结 语

本文探讨了非线性时变系统的稳定性问题。通过利用具有齐次导数的时不变 Lyapunov 函数和近似系统的概念和方法, 得到一般非线性系统渐近稳定充分条件的新结果。文中给出的实例表明, 新判据具有易于验证的特点。

参考文献(References):

[1] Aeyels D. A new asymptotic stability criterion for non-linear time-variant differential equations [J]. *IEEE Trans Autom Contr*, 1998, 43(7): 968-990.

[2] Aeyels D. Stabilization of a class of nonlinear system by a smooth feedback control[J]. *Syst Contr Lett*, 1985, 5(4): 289-294.

[3] Behtash S, Sastry D. Stabilization of nonlinear systems with uncontrollable linearization [J]. *IEEE Trans Autom Contr*, 1988, 33(6): 585-590.

[4] Isidori A. *Nonlinear Control Systems* [M]. 2nd Ed. New York: Springer-Verlag, 1989.

[5] Panteley E, Loria A. On global uniform asymptotic stability of nonlinear time-varying systems in cascade[J]. *Syst Contr Lett*, 1998, 33(2): 131-138.

[6] Cheng D, Martin C. Stabilization of non-linear systems via designed center manifold[J]. *IEEE Trans Autom Contr*, 2001, 46(9): 1372-1383.

[7] Conway J B. *A Course in Functional Analysis* [M]. New York: Springer-Verlag, 1985.

[8] Hahn W. *Stability of Motion* [M]. New York: Springer-Verlag, 1967.