

一种基于区间信度结构的混合型多属性决策方法

张兴贤^{1,2,3}, 王应明^{1,2†}

(1. 福州大学 决策科学研究所, 福州 350116; 2. 福州大学 空间数据挖掘与信息共享
教育部重点实验室, 福州 350116; 3. 铜陵学院 建筑工程学院, 安徽 铜陵 244061)

摘 要: 考虑决策者对语言评估的不确定性,用区间值表示语言评价等级,并将证据理论(DST)和数据包络分析(DEA)两种方法相结合,提出一种基于区间信度结构的混合型多属性决策方法. 首先,通过区间型交叉效率模型构造决策单元定量指标的区间信度结构,利用证据推理非线性优化模型对区间信度结构进行集结,并将集结后的区间信度结构进行效用等价转换,得到一个信度为区间型的分布式等级评估向量;然后,通过证据推理非线性优化模型对定量指标和定性指标的区间信度结构进行融合,得到决策单元总的区间信度结构分布式评估向量,并结合期望效用理论对决策单元进行排序;最后,通过具体算例进行比较分析,结果验证了所提出方法的有效性和合理性.

关键词: 区间信度结构; 混合型多属性决策; 区间型交叉效率; 证据推理; 非线性优化模型; 期望效用

中图分类号: C934

文献标志码: A

A hybrid multi-attribute decision-making method based on interval belief structure

ZHANG Xing-xian^{1,2,3}, WANG Ying-ming^{1,2†}

(1. Decision Sciences Institute, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China; 2. Key Laboratory of Spatial Data Mining & Information Sharing of Ministry of Education, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China; 3. College of Engineering and Architecture, Tongling University, Tongling 244061, China)

Abstract: Considering the uncertainty of language assessment in decision makers, the interval value is used to indicate the language evaluation grade. Combining the Dempster-Shafer theory(DST) and data envelopment analysis(DEA), a hybrid multi-attribute decision making method based on the interval belief structure is proposed. Firstly, by using the interval cross efficiency model to construct the decision-making units interval belief structure of quantitative indicators, taking the evidence reasoning nonlinear optimization model to aggregate the interval belief structure, the interval belief structure of the quantitative indicators of decision-making units is converted into distributed evaluation vectors with interval belief according to the principle of utility(value) equivalence. Then, the interval belief structure of the quantitative and qualitative indicators is integrated through the evidence reasoning nonlinear optimization model, and the distributed evaluation vectors of the total interval belief structure of the decision-making units are obtained, and the expected utility theory is used to rank decision-making units. Finally, a numerocal example is given to illustrate the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Keywords: interval belief structure; hybrid multi-attribute decision-making; interval cross efficiency; evidential reasoning; nonlinear optimization model; expected utility

0 引 言

多属性决策问题普遍存在于经济、管理、工程和环境等领域,目前已有很多研究成果用于解决多属性决策问题^[1-8]. 然而,在决策问题中,属性值为混合型的多属性决策是普遍存在的,如在实验室综合评价中^[9-11],既有定量指标又有定性指标,且定量指标中

往往还存在多个投入产出指标. 对于这类含有投入产出指标的混合型多属性决策问题,需要决策方法具备处理和集结不同属性度量信息的能力.

目前,针对这类问题已有学者进行了相关研究,其研究方法可以分为两类:第 1 类是将模糊综合评价(FCA)和数据包络分析(DEA)两种方法相结合,提出

收稿日期: 2017-07-27; 修回日期: 2018-01-28.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71371053, 61773123); 教育部人文社会科学项目(16YJC630008).

作者简介: 张兴贤(1984—),男,讲师,博士生,从事决策理论与方法的研究; 王应明(1964—),男,教授,博士生导师,从事决策理论与方法等研究.

†通讯作者. E-mail: msymwang@hotmail.com.

不同类型的混合型多属性决策方法^[12-17];第2类是将证据理论(DST)和数据包络分析(DEA)两种方法相结合,提出一种基于证据理论和DEA交叉效率的决策评价方法^[11,18].

上述两类决策方法在一定程度上解决了混合型多属性决策问题,但这两类方法仍然存在某些不足:第1类方法考虑了语言评估中的模糊性,但是过于复杂的模型使其求解困难,而且未能考虑决策者的主观偏好;第2类方法考虑了决策者的主观偏好性,并且能够有效克服评价指标必须满足加性独立条件的要求,但是没有考虑决策者对语言评估的不确定性,而在决策过程中,由于语言评价等级的不确定性以及专家思维的模糊性等原因,利用区间值表示的语言评价等级更能符合实际.

为了克服上述两类方法的缺陷,本文基于第2类方法的研究思路,同时考虑决策者对语言评估的不确定性,用区间值表示语言评价等级,将证据理论(DST)和数据包络分析(DEA)两种方法相结合,提出一种基于区间信度结构的混合型多属性决策方法.该方法在融合过程中信息损失较小,融合过程简单合理.同时,本文在定量指标信息融合过程中采用区间型交叉效率模型,有效地克服了传统交叉效率模型(进取型和仁慈型)的缺陷.该方法将决策单元的区间型交叉效率值看作一系列证据,通过区间型交叉效率模型构造决策单元定量指标的区间信度结构,利用证据推理非线性优化模型对区间信度结构进行集结,并将集结后的区间信度结构进行效用等价转换,得到一个信度为区间型的分布式等级评估向量;再通过证据推理非线性优化模型对定量指标和定性指标的区间信度结构进行融合,得到决策单元总的区间信度结构分布式评估向量,最后结合期望效用理论对决策单元进行排序.

1 区间型交叉效率评价方法

区间型交叉效率的计算是基于交叉效率博弈模型^[19],该评价方法考虑了权重空间中所有可能的权重方案,并将其计算得到的交叉效率值定义到某一效率区间上^[20].

假设 n 个被评价决策单元 $DMU_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 均有 m 种投入和 s 种产出; x_{ij} 和 $y_{rj} (i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s)$ 分别表示 DMU_j 的第 i 种投入和第 r 种产出; ω_{id} 和 u_{rd} 分别表示评价单元 DMU_d 的投入和产出权重.在他评阶段中,决策单元保持其自评效率 θ_d^* 不变的前提下,决策单元 DMU_j 可以获得的最大交叉效率值通过如下模型求解得到:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} = \bar{E}_{dj}. \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m \omega_{id} x_{ij} = 1; \\ & \theta_d^* \times \sum_{i=1}^m \omega_{id} x_{id} - \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rd} = 0; \\ & \sum_{i=1}^m \omega_{id} x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} \geq 0, \\ & j = 1, 2, \dots, n, j \neq d; \\ & \omega_{id}, u_{rd} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s. \end{aligned} \tag{1}$$

类似地,决策单元 DMU_j 可以获得的最小交叉效率值通过如下模型求解得到:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} = \underline{E}_{dj}. \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m \omega_{id} x_{ij} = 1; \\ & \theta_d^* \times \sum_{i=1}^m \omega_{id} x_{id} - \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rd} = 0; \\ & \sum_{i=1}^m \omega_{id} x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} \geq 0, \\ & j = 1, 2, \dots, n, j \neq d; \\ & \omega_{id}, u_{rd} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s. \end{aligned} \tag{2}$$

比较模型(1)和(2)可以发现,模型(1)实质为仁慈型策略,而模型(2)实质为进取型策略.模型(1)和(2)具有相同的线性约束条件,且目标函数均为凸函数,所以模型(1)和(2)的最优目标函数值构成了交叉效率值区间的下限和上限,记为 \underline{E}_{dj}^* 和 \bar{E}_{dj}^* ,即评价单元 DMU_d 对被评价单元 DMU_j 的交叉评价效率值位于区间 $[\underline{E}_{dj}^*, \bar{E}_{dj}^*]$ 上.

表1为区间型交叉效率矩阵.由表1可知,当 $\underline{E}_{dj}^* = \bar{E}_{dj}^*$ 时,区间型交叉效率矩阵退化为传统的交叉效率矩阵.主对角线上的元素表示决策单元自评效率值,满足 $\underline{E}_{jj}^* = \bar{E}_{jj}^* = \theta_j^* = 1, 2, \dots, n$.

表1 区间型交叉效率矩阵

评价单元 DMU_d	被评价单元 DMU_j				
	1	2	3	...	n
1	$[\underline{E}_{11}^*, \bar{E}_{11}^*]$	$[\underline{E}_{12}^*, \bar{E}_{12}^*]$	$[\underline{E}_{13}^*, \bar{E}_{13}^*]$...	$[\underline{E}_{1n}^*, \bar{E}_{1n}^*]$
2	$[\underline{E}_{21}^*, \bar{E}_{21}^*]$	$[\underline{E}_{22}^*, \bar{E}_{22}^*]$	$[\underline{E}_{23}^*, \bar{E}_{23}^*]$...	$[\underline{E}_{2n}^*, \bar{E}_{2n}^*]$
3	$[\underline{E}_{31}^*, \bar{E}_{31}^*]$	$[\underline{E}_{32}^*, \bar{E}_{32}^*]$	$[\underline{E}_{33}^*, \bar{E}_{33}^*]$...	$[\underline{E}_{3n}^*, \bar{E}_{3n}^*]$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	$[\underline{E}_{n1}^*, \bar{E}_{n1}^*]$	$[\underline{E}_{n2}^*, \bar{E}_{n2}^*]$	$[\underline{E}_{n3}^*, \bar{E}_{n3}^*]$...	$[\underline{E}_{nn}^*, \bar{E}_{nn}^*]$

传统的交叉效率模型(进取型或仁慈型)在一般情况下求出的交叉效率值是唯一的,但并不是一个没有缺陷的方法.首先,尽管现有的大部分交叉效率评价应用选择进取型交叉效率模型^[11,21-24],但是并没有理论依据.其次,采用传统的交叉效率模型(进取型或仁慈型)对决策单元进行评价可能会得到不同的交叉效率值和不一致的排序结果^[25],这使得决策者在选择应用时会产生困惑.另外,在自评阶段,决策单元会尽力实现自身效率的最大化,而在他评阶段却没有足够的动机去选择一组特定的权重方案来最优化其他决策单元的交叉效率值^[19].

2 基于区间信度结构的证据推理方法

2.1 区间信度结构

传统的证据推理方法采用信度决策矩阵来描述多属性决策问题,每个方案的每个属性(定量或定性)采用分布式的信度结构来描述,这种方法的优势在于可以有效表达专家主观判断中的不确定性.然而,在某些情境下专家很难给出精确的信度,而区间信度能够很好地表达决策者的主观判断或评估.

假设有 M 个方案被 N 个收集完备且相互排斥的评价等级 $H_n(n = 1, 2, \dots, N)$ 评估,这 N 个评价等级构成识别框架 $H = \{H_1, H_2, \dots, H_N\}$.如果方案 a_l 的第 e_i 个属性评估到等级 H_n 的信度为区间值 $[\beta_{n,i}^-, \beta_{n,i}^+]$,则区间值分布评估向量可表示成 $S(e_i(a_l)) = \{(H_n, [\beta_{n,i}^-(a_l), \beta_{n,i}^+(a_l)]), n = 1, 2, \dots, N\}$, $\beta_{n,i}^-(a_l) \geq 0$,可知当 $\beta_{n,i}^- \equiv \beta_{n,i}^+$ 时,区间值信度退化为精确信度.

定义 1^[26] 区间值分布评估向量 $S(e_i(a_l)) = \{(H_n, [\beta_{n,i}^-(a_l), \beta_{n,i}^+(a_l)]), n = 1, 2, \dots, N\}$,如果区间信度 $[\beta_{n,i}^-(a_l), \beta_{n,i}^+(a_l)]$ 满足 $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i}^-(a_l) \leq 1$,则区间值分布评估向量 $S(e_i(a_l))$ 是有效的,否则无效.

对于一个无效的区间值分布评估向量,在决策分析之前需要对其进行修改或调整.

定义 2^[26] 区间值分布评估向量 $S(e_i(a_l)) = \{(H_n, [\beta_{n,i}^-(a_l), \beta_{n,i}^+(a_l)]), n = 1, 2, \dots, N\}$ 是有效的,如果区间信度 $[\beta_{n,i}^-, \beta_{n,i}^+]$ 总满足 $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i}(a_l) = 1$,且 $\beta_{n,i}(a_l) \in [\beta_{n,i}^-(a_l), \beta_{n,i}^+(a_l)], n = 1, 2, \dots, N$,则称 $S(e_i(a_l))$ 为完全的区间值分布评估向量,否则是不完全的, $\sum_{n=1}^N \beta_{n,i}^+(a_l) = 0$ 表示完全无知.

定义 3^[26] $S(e_i(a_l)) = \{(H_n, [\beta_{n,i}^-(a_l), \beta_{n,i}^+(a_l)]), n = 1, 2, \dots, N\}$ 是不完全的区间值分

布评估向量,则分配到整个集合 H 上的区间信度可以表示为

$$\begin{cases} \beta_{H,i}^-(a_l) = \max\left(0, 1 - \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}^+(a_l)\right), \\ \beta_{H,i}^+(a_l) = 1 - \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}^-(a_l). \end{cases} \quad (3)$$

例如,给定识别框架 $H = \{H_1, H_2, H_3\}$,区间值分布评估向量 $S(e_i(a_l)) = \{(H_1, [0.3, 0.4]), (H_2, [0.2, 0.3]), (H_3, [0.4, 0.5])\}$,则

$$\begin{cases} \beta_{H,i}^-(a_l) = \max\left(0, 1 - \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}^+(a_l)\right) = \\ \max(0, 1 - 0.4 - 0.3 - 0.5) = 0, \\ \beta_{H,i}^+(a_l) = 1 - \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}^-(a_l) = \\ 1 - 0.3 - 0.2 - 0.4 = 0.1. \end{cases}$$

因此,分配到整个集合 H 上的区间信度为 $[0, 0.1]$.

2.2 指标值效用等价转换

对于定性指标,建立评价等级,将定性属性值与评价等级进行对应转换.例如,定性指标采用5个评价等级, $H = \{H_1, H_2, H_3, H_4, H_5\} = \{\text{很差, 差, 一般, 好, 很好}\}$,则定性值“很差”对应于等级 H_1 的信度为1,定性值“一般”对应于等级 H_3 的信度为1.若决策者不能确定定性属性值的评价等级,则用区间值表示语言评价等级,如 $\{(一般, [0.2, 0.4]), (好, [0.7, 0.8])\}$ 表示评价到等级 H_3 的信度为 $[0.2, 0.4]$,评价到 H_4 的信度为 $[0.7, 0.8]$.同理,可得到其他定性值处于不同等级的信度.

对于定量指标,由于区间型交叉效率值可能包含多个语言评价等级,其建模过程要比精确数复杂.区间型交叉效率值与语言评价等级的关系有两种情况^[26],如图1所示.

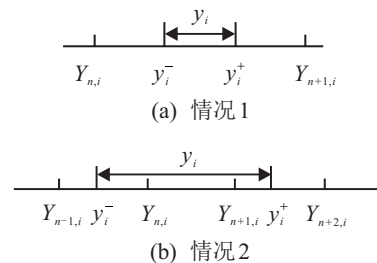


图1 区间型交叉效率值与语言评价等级的关系

如图1(a)所示,区间型交叉效率值 $y_i \in [y_i^-, y_i^+]$ 被两个相邻的评价等级 $Y_{n,i}$ 和 $Y_{n+1,i}$ 所包含,则 y_i 评估到等级 $Y_{n,i}$ 和 $Y_{n+1,i}$ 的区间信度 $[\beta_{n,i}^-, \beta_{n,i}^+]$ 和 $[\beta_{n+1,i}^-, \beta_{n+1,i}^+]$ 可由下式确定:

$$\begin{cases} \beta_{n,i}^- = \frac{Y_{n+1,i} - y_i^+}{Y_{n+1,i} - Y_{n,i}}, \\ \beta_{n,i}^+ = \frac{Y_{n+1,i} - y_i^-}{Y_{n+1,i} - Y_{n,i}}; \\ \beta_{n+1,i}^- = \frac{y_i^- - Y_{n,i}}{Y_{n+1,i} - Y_{n,i}}, \\ \beta_{n+1,i}^+ = \frac{y_i^+ - Y_{n,i}}{Y_{n+1,i} - Y_{n,i}}. \end{cases} \quad (4)$$

上述区间信度 $\beta_{n,i} \in [\beta_{n,i}^-, \beta_{n,i}^+]$ 和 $\beta_{n+1,i} \in [\beta_{n+1,i}^-, \beta_{n+1,i}^+]$ 不是相互独立的, 需要满足 $\beta_{n,i} + \beta_{n+1,i} = 1$. 运用区间信度结构, 区间型交叉效率值 $y_i \in [y_i^-, y_i^+]$ 可以等价地表示为 $y_i \in [y_i^-, y_i^+] \Leftrightarrow \{(H_n, [\beta_{n,i}^-, \beta_{n,i}^+]), (H_{n+1}, [\beta_{n+1,i}^-, \beta_{n+1,i}^+])\}, \beta_{n,i} + \beta_{n+1,i} = 1$. 由定义2可知, $\{(H_n, [\beta_{n,i}^-, \beta_{n,i}^+]), (H_{n+1}, [\beta_{n+1,i}^-, \beta_{n+1,i}^+])\}$ 是一个完全的区间值分布评估向量.

如图1(b)所示, 不失一般性, 假设区间型交叉效率值 $y_i \in [y_i^-, y_i^+]$ 包含两个相邻的评价等级 $Y_{n,i}$ 和 $Y_{n+1,i}$, 则 $y_i \in [y_i^-, y_i^+]$ 分别评估到等级 $Y_{n-1,i}$ 、 $Y_{n,i}$ 、 $Y_{n+1,i}$ 和 $Y_{n+2,i}$ 的相应的区间信度 $\beta_{n-1,i} \in [\beta_{n-1,i}^-, \beta_{n-1,i}^+]$ 、 $\beta_{n,i} \in [\beta_{n,i}^-, \beta_{n,i}^+]$ 、 $\beta_{n+1,i} \in [\beta_{n+1,i}^-, \beta_{n+1,i}^+]$ 和 $\beta_{n+2,i} \in [\beta_{n+2,i}^-, \beta_{n+2,i}^+]$ 可由下列公式确定:

$$\begin{cases} \beta_{n-1,i}^- = 0, \beta_{n-1,i}^+ = \frac{y_i^- - Y_{n-1,i}}{Y_{n,i} - Y_{n-1,i}}; \\ \beta_{n,i}^- = 0, \beta_{n,i}^+ = 1; \\ \beta_{n+1,i}^- = 0, \beta_{n+1,i}^+ = 1; \\ \beta_{n+2,i}^- = 0, \beta_{n+2,i}^+ = \frac{y_i^+ - Y_{n+1,i}}{Y_{n+2,i} - Y_{n+1,i}}. \end{cases} \quad (5)$$

因为 y_i 只能落在 $[y_i^-, Y_{n,i})$ 、 $[Y_{n,i}, Y_{n+1,i}]$ 和 $(Y_{n+1,i}, y_i^+]$ 三个区间中的某一个区间里, 所以需要引入0-1整数变量, 且只有一个0-1整数变量不为0, 即 $I_{n-1,n} + I_{n,n+1} + I_{n+1,n+2} = 1$. 其中

$$I_{k-1,k} = \begin{cases} 1, & y_i \in [Y_{k-1,i}, Y_{k,i}); \\ 0, & \text{其他,} \end{cases} \quad k = n, n+1, n+2. \quad (6)$$

运用上述0-1整数变量, 式(5)可被转化为

$$\begin{cases} \beta_{n-1,i}^- = 0, \beta_{n-1,i}^+ = I_{n-1,n} \cdot \frac{y_i^- - Y_{n-1,i}}{Y_{n,i} - Y_{n-1,i}}; \\ \beta_{n,i}^- = 0, \beta_{n,i}^+ = I_{n-1,n} + I_{n,n+1}; \\ \beta_{n+1,i}^- = 0, \beta_{n+1,i}^+ = I_{n,n+1} + I_{n+1,n+2}; \\ \beta_{n+2,i}^- = 0, \beta_{n+2,i}^+ = I_{n+1,n+2} \cdot \frac{y_i^+ - Y_{n+1,i}}{Y_{n+2,i} - Y_{n+1,i}}. \end{cases} \quad (7)$$

上述区间信度结构 $\beta_{n-1,i}$ 、 $\beta_{n,i}$ 、 $\beta_{n+1,i}$ 和 $\beta_{n+2,i}$ 不是相互独立的, 需要满足 $\beta_{n-1,i} + \beta_{n,i} + \beta_{n+1,i} +$

$\beta_{n+2,i} = 1$. 运用区间信度结构, 区间型交叉效率值 $y_i \in [y_i^-, y_i^+]$ 可以等价地表示为

$$\begin{aligned} y_i \in [y_i^-, y_i^+] &\Leftrightarrow \\ &\{(H_{n-1}, [\beta_{n-1,i}^-, \beta_{n-1,i}^+]), (H_n, [\beta_{n,i}^-, \beta_{n,i}^+]), \\ &(H_{n+1}, [\beta_{n+1,i}^-, \beta_{n+1,i}^+]), (H_{n+2}, [\beta_{n+2,i}^-, \beta_{n+2,i}^+])\}, \\ &\beta_{n-1,i} + \beta_{n,i} + \beta_{n+1,i} + \beta_{n+2,i} = 1, \\ &I_{n-1,n} + I_{n,n+1} + I_{n+1,n+2} = 1. \end{aligned}$$

2.3 证据推理非线性优化模型

由于决策矩阵含有区间信度结构, 不能简单地将区间运算引入证据推理解析算法中进行区间信度结构的集结, 这样会导致错误的计算结果. 因此, 本文介绍证据推理非线性优化模型进行区间信度结构集结^[26].

首先, 根据相应的权重信息和区间信度, 运用下列公式将区间信度转化为区间mass函数分布^[27]:

$$\begin{cases} m_{n,i} = m_i(H_n) \in [m_{n,i}^-, m_{n,i}^+] = \\ \quad [w_i \beta_{n,i}^-(a_l), w_i \beta_{n,i}^+(a_l)], \\ n = 1, 2, \dots, N, i = 1, 2, \dots, L; \\ \bar{m}_{H,i} = \bar{m}_i(H) = 1 - w_i, i = 1, 2, \dots, L; \\ \tilde{m}_{H,i} = \tilde{m}_i(H) \in [\tilde{m}_{H,i}^-, \tilde{m}_{H,i}^+] = \\ \quad [w_i \beta_{H,i}^-(a_l), w_i \beta_{H,i}^+(a_l)], \\ \quad i = 1, 2, \dots, L; \\ \sum_{n=1}^N m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i} = 1, \\ \sum_{i=1}^L w_i = 1, i = 1, 2, \dots, L. \end{cases} \quad (8)$$

如果区间值分布评估向量 $S(e_i(a_l)) = \{(H_n, [\beta_{n,i}^-(a_l), \beta_{n,i}^+(a_l)]), n = 1, 2, \dots, N\}$ 是完全的, 则 $\beta_{H,i}^-(a_l) = \beta_{H,i}^+(a_l) \equiv 0$; 否则, $\beta_{H,i}^-(a_l)$ 和 $\beta_{H,i}^+(a_l)$ 可以运用式(3)确定. 然后, L 个基本属性评价的区间mass函数可以通过下列证据推理非线性优化模型进行融合, 从而得到总体区间信度. 其中: $\beta_n^+(a_l)$ 和 $\beta_n^-(a_l)$ 是该优化模型的最优目标函数值, 构成一个总体区间信度 $[\beta_n^-(a_l), \beta_n^+(a_l)]$, 表示方案 a_l 评价到等级 H_n 的可能性区间, 这个可能性区间同样也是一个区间值分布评估向量 $S(y(a_l)) = \{(H_n, [\beta_n^-(a_l), \beta_n^+(a_l)]), n = 1, 2, \dots, N\}$. 此外, 用 $\beta_H(a_l) = \frac{\bar{m}_H}{1 - \bar{m}_H}$ 替换式(9)中的 $\beta_n(a_l) = \frac{m_n}{1 - \bar{m}_H}$, 并求解优化模型, 可以得到 $\beta_H(a_l)$ 的区间信度, 即 $[\beta_H^-(a_l), \beta_H^+(a_l)]$.

$$\max / \min \beta_n(a_l) = \frac{m_n}{1 - \bar{m}_H}.$$

$$\begin{aligned}
 \text{s.t. } m_n &= k \left[\prod_{i=1}^L (m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) - \prod_{i=1}^L (\bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) \right], n = 1, 2, \dots, N; \\
 \tilde{m}_H &= k \left[\prod_{i=1}^L (\bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) - \prod_{i=1}^L \bar{m}_{H,i} \right]; \\
 \bar{m}_H &= k \left[\prod_{i=1}^L \bar{m}_{H,i} \right]; \\
 k &= \left[\sum_{i=1}^N \prod_{i=1}^L (m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) - (N-1) \prod_{i=1}^L (\bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) \right]^{-1}; \\
 m_{n,i}^- &\leq m_{n,i} \leq m_{n,i}^+, \\
 n &= 1, 2, \dots, N, i = 1, 2, \dots, L; \\
 \bar{m}_{H,i} &= 1 - w_i, \tilde{m}_{H,i}^- \leq \tilde{m}_{H,i} \leq \tilde{m}_{H,i}^+, \\
 & i = 1, 2, \dots, L; \\
 \sum_{n=1}^N m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i} &= 1, i = 1, 2, \dots, L.
 \end{aligned} \tag{9}$$

不同于其他多属性决策问题,证据推理方法为每个方案提供了一个集结的分布式评估,并结合期望效用理论对方案进行排序.期望效用定义为 $u(S(y(a_l))) = \sum_{n=1}^N u(H_n)\beta_n(a_l)$, $l = 1, 2, \dots, M$. 假设 $u(H_n)$ 为等级 H_n 的等级效用, $\beta_n(a_l)$ 为方案 a_l 评估到等级 H_n 的总体信度. 如果集结的分布式评估是不完全的,则 $\beta_H(a_l) \neq 0$, $\beta_H(a_l)$ 可能分配到任何评估等级.

当 $\beta_H(a_l)$ 分配到评估等级 H_N 时,方案 a_1 最大的期望效用可用下列公式表示:

$$\begin{aligned}
 u_{\max}(a_l) &= \sum_{n=1}^{N-1} \beta_n(a_l)u(H_n) + (\beta_N(a_l) + \beta_H(a_l))u(H_N), \\
 & l = 1, 2, \dots, M.
 \end{aligned} \tag{10}$$

当 $\beta_H(a_l)$ 分配到评估等级 H_1 时,方案 a_1 最小的期望效用可用下列公式表示:

$$\begin{aligned}
 u_{\min}(a_l) &= (\beta_1(a_l) + \beta_H(a_l))u(H_1) + \sum_{n=2}^N \beta_n(a_l)u(H_n), \\
 & l = 1, 2, \dots, M.
 \end{aligned} \tag{11}$$

方案 a_1 的平均期望效用可用下列公式表示:

$$\begin{aligned}
 u_{\text{aver}}(a_l) &= \frac{u_{\max}(a_l) + u_{\min}(a_l)}{2}, \\
 & l = 1, 2, \dots, M.
 \end{aligned} \tag{12}$$

当 $\beta_H(a_l) = 0$,表示集结的分布式评估是完全的,则 $u_{\max}(a_l) = u_{\min}(a_l) = u_{\text{aver}}(a_l)$,可用 $u_{\text{aver}}(a_l)$ 对决策单元进行评价.

由于集结的区间值分布评估向量的期望效用也是区间值,其最大值和最小值可以通过求解下列证据推理非线性优化模型得到:

$$\begin{aligned}
 \max u_{\max}(a_l) &= \sum_{n=1}^{N-1} \beta_n(a_l)u(H_n) + (\beta_N(a_l) + \beta_H(a_l))u(H_N). \\
 \text{s.t. } \beta_n(a_l) &= \frac{m_n}{1 - \bar{m}_H}, n = 1, 2, \dots, N; \\
 \beta_H(a_l) &= \frac{\tilde{m}_H}{1 - \bar{m}_H}; \\
 m_n &= k \left[\prod_{i=1}^L (m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) - \prod_{i=1}^L (\bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) \right], n = 1, 2, \dots, N; \\
 \tilde{m}_H &= k \left[\prod_{i=1}^L (\bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) - \prod_{i=1}^L \bar{m}_{H,i} \right]; \\
 \bar{m}_H &= k \left[\prod_{i=1}^L \bar{m}_{H,i} \right]; \\
 k &= \left[\sum_{i=1}^N \prod_{i=1}^L (m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) - (N-1) \prod_{i=1}^L (\bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) \right]^{-1}; \\
 m_{n,i}^- &\leq m_{n,i} \leq m_{n,i}^+, \\
 n &= 1, 2, \dots, N, i = 1, 2, \dots, L; \\
 \bar{m}_{H,i} &= 1 - w_i, \tilde{m}_{H,i}^- \leq \tilde{m}_{H,i} \leq \tilde{m}_{H,i}^+, \\
 & i = 1, 2, \dots, L; \\
 \sum_{n=1}^N m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i} &= 1, \\
 & i = 1, 2, \dots, L; \\
 \min u_{\min}(a_l) &= (\beta_1(a_l) + \beta_H(a_l))u(H_1) + \sum_{n=2}^N \beta_n(a_l)u(H_n). \\
 \text{s.t. } \beta_n(a_l) &= \frac{m_n}{1 - \bar{m}_H}, n = 1, 2, \dots, N; \\
 \beta_H(a_l) &= \frac{\tilde{m}_H}{1 - \bar{m}_H}; \\
 m_n &= k \left[\prod_{i=1}^L (m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) - \prod_{i=1}^L (\bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) \right], n = 1, 2, \dots, N; \\
 \tilde{m}_H &= k \left[\prod_{i=1}^L (\bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) - \prod_{i=1}^L \bar{m}_{H,i} \right];
 \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned} \bar{m}_H &= k \left[\prod_{i=1}^L \bar{m}_{H,i} \right]; \\ k &= \left[\sum_{i=1}^N \prod_{i=1}^L (m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) - \right. \\ &\quad \left. (N-1) \prod_{i=1}^L (\bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i}) \right]^{-1}; \\ m_{n,i}^- &\leq m_{n,i} \leq m_{n,i}^+; \\ n &= 1, 2, \dots, N, i = 1, 2, \dots, L; \\ \bar{m}_{H,i} &= 1 - w_i, \tilde{m}_{H,i}^- \leq \tilde{m}_{H,i} \leq \tilde{m}_{H,i}^+, \\ &\quad i = 1, 2, \dots, L; \\ \sum_{n=1}^N m_{n,i} + \bar{m}_{H,i} + \tilde{m}_{H,i} &= 1, i = 1, 2, \dots, L. \end{aligned} \quad (14)$$

3 基于区间信度结构的混合型多属性决策评价过程

基于现有的研究,本文提出一种基于区间信度结构的混合型多属性决策方法,其过程如下。

Step 1: 运用区间型交叉效率模型计算决策单元的定量指标的区间型交叉效率值,得到区间型交叉效率矩阵。由于每列上的区间型交叉效率值的产生不受其他区间型交叉效率值是否已知的影响,可视其为相互独立的。因此,将行上的决策单元视为评价对象集,用 $n = \{1, 2, \dots, N\}$ 表示,将列上的区间型交叉效率值视为证据,用 $E_j = \{e_{j1}, e_{j2}, \dots, e_{jN}\}$ 表示,决策者主观偏好权重用 $w = \{w_1, w_2, \dots, w_N\}$ 表示。

Step 2: 构建定量指标评价等级,并将评价等级作为识别框架 θ , 即 $\theta = \{G_1, G_2\}$ 。其中:等级 G_1 表示有效率的,等级 G_2 表示非有效率的。非有效率的不等于无效的,非有效率的反映了被评价决策单元可能的最差相对效率值^[18]。 G_1 和 G_2 是收集完备且相互排斥的评价等级。决策单元的区间型交叉效率值可以视为在 G_1 和 G_2 两个等级上的分布。例如,决策单元 DMU_k 的区间型交叉效率值为 $[0.1, 0.6]$, 则认为该决策单元评价到等级 G_1 (有效率的) 的可能性为 $0.1 \sim 0.6$, 评价到等级 G_2 (非有效率的) 的可能性为 $0.4 \sim 0.9$, 记为 $[G_1(0.1, 0.6), G_2(0.4, 0.9)]$ 。

Step 3: 通过区间型交叉效率模型构造决策单元定量指标的区间信度结构,利用证据推理非线性优化模型对区间信度结构进行集结,得到定量指标总的区间信度结构,其中决策单元处于 G_1 上的区间信度即为决策单元 DMU_k 集结的区间型交叉效率值。

Step 4: 对指标值进行效用等价转换。对于定性指标,建立评价等级,将定性属性值与评价等级进行对应转换,得到定性值处于不同等级的信度。对于定量指标,将集结后的决策单元定量指标的区间型交叉效

率值进行转换,得到一个信度为区间型的分布式等级评估向量。

Step 5: 通过证据推理非线性优化模型对定量指标和定性指标的区间信度结构进行融合,得到决策单元总的区间信度结构分布式评估向量,最后结合期望效用理论对决策单元进行排序。

4 算例分析

运用文献[9-11]中的部分算例数据来说明本文方法的可行性和优越性。下面对8个实验室进行评价。其中:评价指标体系分为人力财力和综合管理两个一级指标,人力财力包括3个定量的二级指标(其人数、资金投入为输入指标,社会委托检验为输出指标),综合管理包括3个定性的二级指标(运行管理、实验科研和资源共享)。各指标评价值和权重已知(见表2)。根据上述评价方法对8个实验室 I_1, I_2, \dots, I_8 进行评价。

本文采用区间型交叉效率评价策略,利用 Excel 和 Lingo11 软件计算得到人力财力指标的区间型交叉效率矩阵,将区间型交叉效率值视为决策单元定量指标的区间信度,并运用式(9)对区间信度结构进行集结。在集结过程中,实验室权重方案按照文献[11, 18]的思路,实验室自身评价权重为0.8,其他实验室评价权重均为0.02857,得到决策单元定量指标总的区间信度结构,如表3所示。

假设实验室评价等级为5级,即很差、差、一般、好、很好,所以识别框架为 $H = \{H_1, H_2, H_3, H_4, H_5\} = \{\text{很差, 差, 一般, 好, 很好}\}$, 决策者对5个等级的效用分别为 $U(H_1) = 0, U(H_2) = 0.25, U(H_3) = 0.5, U(H_4) = 0.75, U(H_5) = 1$ 。假设人力财力指标区间型交叉效率值对应的不同等级定性值为 $(0, 0.25, 0.5, 0.75, 1)$ 。运用式(4)~(7)将集结后的决策单元定量指标的区间型交叉效率值转换,得到一个信度为区间型的分布式等级评估向量,并运用式(9)对定性指标区间信度结构进行融合,得到各个实验室定性指标处于不同评价等级的区间信度,如表4所示。

运用式(9)对定量指标和定性指标的区间信度结构进行融合,得到实验室总的处于不同评价等级的区间信度,最后运用式(10)~(14)对实验室的平均期望效用进行排序,得到排序结果为 $I_8 \succ I_3 \succ I_2 \succ I_1 \succ I_7 \succ I_5 \succ I_6 \succ I_4$, 见表5。

从信息融合的角度分析,本文方法的排序结果更符合实际。其原因主要是本文方法在现有研究的基础上充分考虑了决策者在决策过程中对定性指标评价等级的不确定性,并采取有效的方法对其进行信息融合。此外,本文在定量指标信息集结过程中采用区

间型交叉效率模型,有效克服了传统交叉效率模型(进取型和仁慈型)的缺陷,而且可以看出文献[11]求出的决策单元交叉效率值只是本文区间型交叉效率

值的一个特例.综合评价结果来看,本文提出的基于区间信度结构的混合型多属性决策方法更有利于决策单元的客观评价.

表2 评价指标体系

实验室	人力财力(0.6)			综合管理(0.4)		
	人数(输入)	资金投入/万元(输入)	社会委托检验投入/万元(输入)	运行管理(0.4)	实验科研(0.4)	资源共享(0.2)
1	27	1570	430	{一般, [0.3,0.4]}, (好, [0.7,0.8])	差	{(好, [0.4,0.5]), (很好, [0.55,0.65])}
2	119	5248	1945	一般	{好, [0.3,0.5]}, (很好, [0.5,0.6])	{好, [0.1,0.15]}, (很好, [0.8,0.95])
3	40	580	361	{差, [0.3,0.4]}, (一般, [0.5,0.6])	{一般, [0.5,0.65]}, (好, [0.4,0.5])	好
4	81	4232	290	一般	差	{好, [0.1,0.2]}, (很好, [0.8,0.9])
5	31	3161	177.97	{很差, [0.2,0.4]}, (差, [0.6,0.7])	好	差
6	18	381	51	差	{一般, [0.4,0.5]}, (好, [0.5,0.6])	好
7	60	180	40.8963	好	好	一般
8	69	2052	1788.23	一般	很差	{差, [0.15,0.2]}, (一般, [0.8,0.85])

表3 区间型交叉效率矩阵及区间信度

DMU	等级	DMU				
		1	2	3	4	5
1	G_1	[0.614 5, 0.614 5]	[0.630 7, 0.630 7]	[0.348 2, 0.348 2]	[0.138 1, 0.138 1]	[0.221 5, 0.221 5]
	G_2	[0.385 5, 0.385 5]	[0.369 3, 0.369 3]	[0.651 8, 0.651 8]	[0.861 9, 0.861 9]	[0.778 5, 0.778 5]
2	G_1	[0.614 5, 0.614 5]	[0.630 7, 0.630 7]	[0.348 2, 0.348 2]	[0.138 1, 0.138 1]	[0.221 5, 0.221 5]
	G_2	[0.385 5, 0.385 5]	[0.369 3, 0.369 3]	[0.651 8, 0.651 8]	[0.861 9, 0.861 9]	[0.778 5, 0.778 5]
3	G_1	[0.314 3, 0.314 3]	[0.425 3, 0.425 3]	[0.714 2, 0.714 2]	[0.078 6, 0.078 6]	[0.064 6, 0.064 6]
	G_2	[0.685 7, 0.685 7]	[0.574 7, 0.574 7]	[0.285 8, 0.285 8]	[0.921 4, 0.921 4]	[0.935 4, 0.935 4]
4	G_1	[0.614 5, 0.614 5]	[0.630 7, 0.630 7]	[0.348 2, 0.348 2]	[0.138 1, 0.138 1]	[0.221 5, 0.221 5]
	G_2	[0.385 5, 0.385 5]	[0.369 3, 0.369 3]	[0.651 8, 0.651 8]	[0.861 9, 0.861 9]	[0.778 5, 0.778 5]
5	G_1	[0.614 5, 0.614 5]	[0.630 7, 0.630 7]	[0.348 2, 0.348 2]	[0.138 1, 0.138 1]	[0.221 5, 0.221 5]
	G_2	[0.385 5, 0.385 5]	[0.369 3, 0.369 3]	[0.651 8, 0.651 8]	[0.861 9, 0.861 9]	[0.778 5, 0.778 5]
6	G_1	[0.314 3, 0.314 3]	[0.425 3, 0.425 3]	[0.714 2, 0.714 2]	[0.078 6, 0.078 6]	[0.064 6, 0.064 6]
	G_2	[0.685 7, 0.685 7]	[0.574 7, 0.574 7]	[0.285 8, 0.285 8]	[0.921 4, 0.921 4]	[0.935 4, 0.935 4]
7	G_1	[0.314 3, 0.314 3]	[0.425 3, 0.425 3]	[0.714 2, 0.714 2]	[0.078 6, 0.078 6]	[0.064 6, 0.064 6]
	G_2	[0.685 7, 0.685 7]	[0.574 7, 0.574 7]	[0.285 8, 0.285 8]	[0.921 4, 0.921 4]	[0.935 4, 0.935 4]
8	G_1	[0.314 3, 0.614 5]	[0.425 3, 0.630 7]	[0.348 2, 0.714 2]	[0.078 6, 0.138 1]	[0.064 6, 0.221 5]
	G_2	[0.385 5, 0.685 7]	[0.369 3, 0.574 7]	[0.285 8, 0.651 8]	[0.861 9, 0.921 4]	[0.778 5, 0.935 4]

DMU	等级	DMU			区间信度
		6	7	8	
1	G_1	[0.109 3, 0.109 3]	[0.026 3, 0.026 3]	[1.000 0, 1.000 0]	[0.601 2, 0.607 3]
	G_2	[0.890 7, 0.890 7]	[0.973 7, 0.973 7]	[0.000 0, 0.000 0]	[0.392 7, 0.398 8]
2	G_1	[0.109 3, 0.109 3]	[0.026 3, 0.026 3]	[1.000 0, 1.000 0]	[0.626 6, 0.630 6]
	G_2	[0.890 7, 0.890 7]	[0.973 7, 0.973 7]	[0.000 0, 0.000 0]	[0.369 4, 0.373 4]
3	G_1	[0.153 6, 0.153 6]	[0.260 7, 0.260 7]	[1.000 0, 1.000 0]	[0.698 3, 0.705 0]
	G_2	[0.846 4, 0.846 4]	[0.739 3, 0.739 3]	[0.000 0, 0.000 0]	[0.295 0, 0.301 7]
4	G_1	[0.109 3, 0.109 3]	[0.026 3, 0.026 3]	[1.000 0, 1.000 0]	[0.118 9, 0.119 6]
	G_2	[0.890 7, 0.890 7]	[0.973 7, 0.973 7]	[0.000 0, 0.000 0]	[0.880 4, 0.881 1]
5	G_1	[0.109 3, 0.109 3]	[0.026 3, 0.026 3]	[1.000 0, 1.000 0]	[0.193 3, 0.195 7]
	G_2	[0.890 7, 0.890 7]	[0.973 7, 0.973 7]	[0.000 0, 0.000 0]	[0.804 3, 0.806 7]
6	G_1	[0.153 6, 0.153 6]	[0.260 7, 0.260 7]	[1.000 0, 1.000 0]	[0.109 3, 0.153 6]
	G_2	[0.846 4, 0.846 4]	[0.739 3, 0.739 3]	[0.000 0, 0.000 0]	[0.846 4, 0.890 7]
7	G_1	[0.153 6, 0.153 6]	[0.260 7, 0.260 7]	[1.000 0, 1.000 0]	[0.026 3, 0.260 7]
	G_2	[0.846 4, 0.846 4]	[0.739 3, 0.739 3]	[0.000 0, 0.000 0]	[0.739 3, 0.973 7]
8	G_1	[0.109 3, 0.153 6]	[0.026 3, 0.260 7]	[1.000 0, 1.000 0]	[1.000 0, 1.000 0]
	G_2	[0.846 4, 0.890 7]	[0.739 3, 0.973 7]	[0.000 0, 0.000 0]	[0.000 0, 0.000 0]

表4 定量指标效用等价转换与定性指标不同等级的区间信度

实验室	人力财力(0.6)	综合管理(0.4)					
		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H
1	$\{(H_3, [0.570\ 8, 0.595\ 2]), (H_4, [0.404\ 8, 0.429\ 2])\}$	[0,0]	[0.405\ 7, 0.421\ 7]	[0.078\ 6, 0.123\ 0]	[0.366\ 5, 0.429\ 5]	[0.083\ 2, 0.094\ 6]	[0, 0.046\ 9]
2	$\{(H_3, [0.477\ 6, 0.494\ 0]), (H_4, [0.506\ 0, 0.522\ 4])\}$	[0,0]	[0,0]	[0.396\ 8, 0.428\ 0]	[0.130\ 7, 0.230\ 8]	[0.350\ 9, 0.425\ 6]	[0, 0.089\ 3]
3	$\{(H_3, [0.180\ 0, 0.206\ 8]), (H_4, [0.793\ 2, 0.820\ 0])\}$	[0,0]	[0.104\ 5, 0.154\ 2]	[0.430\ 2, 0.530\ 4]	[0.322\ 3, 0.395\ 3]	[0,0]	[0, 0.107\ 3]
4	$\{(H_1, [0.521\ 6, 0.524\ 4]), (H_2, [0.475\ 6, 0.478\ 4])\}$	[0,0]	[0.421\ 1, 0.422\ 7]	[0.421\ 1, 0.422\ 7]	[0.015\ 5, 0.031\ 6]	[0.123\ 7, 0.142\ 1]	[0, 0.015\ 5]
5	$\{(H_1, [0.217\ 2, 0.226\ 8]), (H_2, [0.773\ 2, 0.782\ 8])\}$	[0.073\ 8, 0.158\ 4]	[0.433\ 8, 0.490\ 2]	[0,0]	[0.392\ 2, 0.418\ 5]	[0,0]	[0, 0.073\ 8]
6	$\{(H_1, [0.462\ 8, 0.464\ 8]), (H_2, [0.535\ 2, 0.537\ 2])\}$	[0,0]	[0.396\ 0, 0.411\ 6]	[0.154\ 3, 0.200\ 0]	[0.395\ 5, 0.445\ 5]	[0,0]	[0, 0.038\ 6]
7	$\{(H_1, [0.089\ 6, 0.105\ 6]), (H_2, [0.894\ 4, 0.910\ 4])\}$	[0,0]	[0,0]	[0.123\ 3, 0.123\ 3]	[0.876\ 7, 0.876\ 7]	[0,0]	[0,0]
8	$\{(H_4, [0.000\ 0, 0.000\ 0]), (H_5, [1.000\ 0, 1.000\ 0])\}$	[0.386\ 5, 0.389\ 4]	[0.021\ 6, 0.029\ 1]	[0.581\ 7, 0.591\ 8]	[0,0]	[0,0]	[0, 0.007\ 2]

表5 不同等级的区间信度及排序结果

实验室	等级与区间信度结构							期望效用	平均期望效用	排序结果
	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H				
1	[0,0]	[0.111\ 5, 0.118\ 5]	[0.397\ 8, 0.440\ 2]	[0.418\ 5, 0.465\ 2]	[0.022\ 9, 0.026\ 6]	[0, 0.014\ 2]	[0.580\ 9, 0.602\ 8]	0.591\ 9	4	
2	[0,0]	[0,0]	[0.472\ 6, 0.506\ 3]	[0.374\ 0, 0.428\ 0]	[0.092\ 3, 0.116\ 1]	[0, 0.024\ 5]	[0.628\ 7, 0.661\ 4]	0.645\ 1	3	
3	[0,0]	[0.026\ 3, 0.040\ 8]	[0.245\ 2, 0.305\ 5]	[0.655\ 7, 0.710\ 7]	[0,0]	[0, 0.028\ 7]	[0.643\ 3, 0.682\ 1]	0.662\ 7	2	
4	[0.330\ 2, 0.333\ 6]	[0.504\ 4, 0.507\ 3]	[0.117\ 7, 0.119\ 1]	[0.004\ 3, 0.008\ 9]	[0.034\ 6, 0.040\ 0]	[0, 0.004\ 6]	[0.223\ 2, 0.229\ 5]	0.226\ 4	8	
5	[0.152\ 8, 0.190\ 0]	[0.703\ 0, 0.735\ 2]	[0,0]	[0.099\ 9, 0.110\ 2]	[0,0]	[0, 0.019\ 6]	[0.252\ 6, 0.279\ 3]	0.266\ 0	6	
6	[0.290\ 7, 0.295\ 9]	[0.537\ 5, 0.545\ 0]	[0.042\ 4, 0.056\ 1]	[0.108\ 7, 0.124\ 9]	[0,0]	[0, 0.010\ 8]	[0.238\ 6, 0.251\ 8]	0.245\ 2	7	
7	[0.062\ 0, 0.073\ 1]	[0.618\ 8, 0.630\ 3]	[0.037\ 9, 0.038\ 0]	[0.269\ 8, 0.270\ 1]	[0,0]	[0, 0.001\ 0]	[0.376\ 1, 0.379\ 8]	0.378\ 0	5	
8	[0.118\ 5, 0.119\ 8]	[0.006\ 6, 0.009\ 0]	[0.178\ 4, 0.182\ 1]	[0,0]	[0.692\ 3, 0.693\ 3]	[0, 0.002\ 2]	[0.784\ 0, 0.786\ 8]	0.785\ 4	1	

5 结论

本文在现有研究的基础上,考虑决策者对语言评估的不确定性,用区间值表示语言评价等级,将证据理论(DST)和数据包络分析(DEA)两种方法相结合,提出了一种基于区间信度结构的混合型多属性决策方法.该方法充分考虑了决策者在决策过程中对定性指标评价等级的不确定性,并采取有效的方法对其进行信息融合,在融合过程中信息损失较小,融合过程简单合理.同时,在定量指标信息融合过程中采用区间型交叉效率模型,有效地克服了传统交叉效率模型(进取型和仁慈型)的缺陷.文献[11]求出的决策单元交叉效率值只是本文区间型交叉效率值的一个特例,因此本文提出的决策方法可以看成是文献[11]方法的扩展.

参考文献(References)

[1] 郭欢,肖新平, Jeffrey Forrest, 等. 基于二元语义一致性的混合多属性灰关联决策[J]. 控制与决策, 2014, 29(5): 880-884.
(Guo H, Xiao X P, Jeffrey F, et al. Method of grey relational analysis based on two-tuple linguistic consistency for hybrid multi-attribute decision-making[J]. Control and Decision, 2014, 29(5): 880-884.)

[2] Wang Y M, Yang J B. Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach[J]. European J of Operational Research, 2006, 174(3): 1885-1913.

[3] Wang Y M, Elhag T M S. Evidential reasoning approach for bridge condition assessment[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34(1): 689-699.

[4] Liu P D. A novel method for hybrid multiple attribute

- decision making[J]. Knowledge-Based Systems, 2009, 22(5): 388-391.
- [5] Zang X, Du H, Liu P D. The research of enterprise credit risk evaluation based on hybrid decision-making index and VIKOR method[J]. ICIC Express Letters, 2010, 4(2): 527-532.
- [6] Liu P D, Wang P. Some improved linguistic intuitionistic fuzzy aggregation operators and their applications to multiple-attribute decision making[J]. Int J of Information Technology & Decision Making, 2017, 16(3): 817-850.
- [7] Liu P D. Multiple attribute group decision making method based on interval-valued intuitionistic fuzzy power Heronian aggregation operators[J]. Computers & Industrial Engineering, 2017, 108: 199-212.
- [8] Liu P D, Chen S M, Liu J L. Multiple attribute group decision making based on intuitionistic fuzzy interaction partitioned Bonferroni mean operators[J]. Information Sciences, 2017, 411: 98-121.
- [9] 柳顺, 杜树新. 基于数据包络分析的模糊综合评价方法[J]. 模糊系统与数学, 2010, 24(2): 93-98.
(Liu S, Du S X. Fuzzy comprehensive evaluation based on data envelopment analysis[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2010, 24(2): 93-98.)
- [10] 郭清娥, 王雪青, 位珍. 基于DEA交叉评价的模糊综合评价模型及其应用[J]. 控制与决策, 2012, 27(4): 575-578.
(Guo Q E, Wang X Q, Wei Z. Fuzzy comprehensive evaluation based on cross-evaluation and its application[J]. Control and Decision, 2012, 27(4): 575-578.)
- [11] 龚本刚, 张孝琪, 郭丹丹. 基于证据理论-DEA交叉效率的混合型多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2016, 31(5): 943-948.
(Gong B G, Zhang X Q, Guo D D. Method for hybrid multiple attribute decision-making based on Dempster-Shafer theory and cross efficiency of DEA[J]. Control and Decision, 2016, 31(5): 943-948.)
- [12] Mohamed D. A model of fuzzy data envelopment analysis[J]. Information Systems and Operation Research, 2004, 42(4): 267-279.
- [13] Shiraz R K, Charles V, Jalalzadeh L. Fuzzy rough DEA model: A possibility and expected value approaches[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(2): 434-444.
- [14] Azadeh A, Rahimi-Golkhandan A, Moghaddam M. Location optimization of wind power generation-transmission systems under uncertainty using hierarchical fuzzy DEA: A case study[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2014, 30(2): 877-885.
- [15] Gouveia M C, Dias L C, Antunes C H. Super-efficiency and stability intervals in additive DEA[J]. J of the Operational Research Society, 2013, 64(1): 86-96.
- [16] 梁樑, 吴杰. 区间DEA的一种改进的充分排序方法[J]. 系统工程, 2006, 24(1): 107-111.
(Liang L, Wu J. An improving completely ranking approach for interval DEA[J]. Systems Engineering, 2006, 24(1): 107-111.)
- [17] Esmaeili M. An enhanced Russell measure in DEA with interval data[J]. Applied Mathematics and Computation, 2012, 219(4): 1589-1593.
- [18] Yang G L, Yang J B, Liu W B, et al. Cross-efficiency aggregation in DEA models using the evidential reasoning approach[J]. European J of Operational Research, 2013, 231(2): 393-404.
- [19] Liang L, Wu J, Cook W D, et al. The DEA game cross efficiency model and its Nash equilibrium[J]. Operations Research, 2008, 56, 1278-1288.
- [20] Wu J, Liang L, Yang F, et al. Olympics ranking and benchmarking based on cross efficiency evaluation method and cluster analysis: the case of Sydney 2000[J]. Int J of Enterprise Network Management, 2008, 2(2): 377-392.
- [21] Gong B G, Guo D D, Zhang X Q, et al. An approach for evaluating cleaner production performance in iron and steel enterprises involving competitive relationships[J]. J of Cleaner Production, 2017, 142: 739-748.
- [22] Wang Y M, Chin K S. Some alternative models for DEA cross-efficiency evaluation[J]. Int J of Production Economics, 2010, 128(1): 332-338.
- [23] Liu X H, Chu J F, Yin P Z, et al. DEA cross-efficiency evaluation considering undesirable output and ranking priority: A case study of eco-efficiency analysis of coal-fired power plants[J]. J of Cleaner Production, 2017, 142: 877-885.
- [24] Liu W L, Wang Y M, Lv S L. An aggressive game cross-efficiency evaluation in data envelopment analysis[J]. Annals of Operations Research, 2017, 259(1/2): 1-18.
- [25] Wang Y M, Chin K S. A neutral DEA model for cross-efficiency evaluation and its extension[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(5): 3666-3675.
- [26] Wang Y M, Xu D L, Chin K S. The evidential reasoning approach for multiple attribute decision analysis using interval belief degrees[J]. European J of Operational Research, 2006, 175(1): 35-66.
- [27] Wang Y M, Yang J B. Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach[J]. European J of Operational Research, 2006, 174(3): 1885-1913.