

# 基于MACBETH方法的犹豫模糊语言多准则决策方法

徐泽水<sup>†</sup>, 潘 玲, 廖虎昌

(四川大学 商学院, 成都 610064)

**摘 要:** 犹豫模糊语言集是语言术语集的拓展. 受传统的MACBETH(measuring attractiveness by a categorical-based evaluation technique)方法的启发, 构建基于MACBETH方法的犹豫模糊语言多准则决策方法. 首先将语言表达式表示的决策信息通过转化函数转化为犹豫模糊语言数, 进而得出犹豫模糊语言判断矩阵; 然后将此结果应用于改进的MACBETH决策支持系统; 最后, 通过毕业生选择就职企业这一实例说明该方法的有效性和可行性.

**关键词:** 犹豫模糊语言集; MACBETH方法; 多准则决策; 语言判断矩阵; 决策方法

中图分类号: TP273

文献标志码: A

## Multi-criteria decision making method of hesitant fuzzy linguistic term set based on improved MACBETH method

XU Ze-shui<sup>†</sup>, PAN Ling, LIAO Hu-chang

(Business School, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** Hesitant fuzzy linguistic term set is an extension of the linguistic term set. Motivated by the idea of traditional MACBETH(measuring attractiveness by a categorical-based evaluation technique) method, a macbeth method with hesitant fuzzy linguistic information is introduced. Firstly, the decision information represented by the linguistic expressions is transformed to the hesitant fuzzy linguistic term set, and the hesitant fuzzy linguistic judgment matrix is derived. Then the results are applied to the improved MACBETH decision support system. Finally, a numerical example concerning how the graduates choose the company they want to work in is given to illustrate the effectiveness and feasibility of the proposed method.

**Keywords:** hesitant fuzzy linguistic term set; MACBETH method; multi-criteria decision making; linguistic judgment matrix; decision making method

## 0 引 言

不确定条件下的多准则决策问题一直是具有挑战性的课题之一. Zadeh<sup>[1]</sup>在1965年根据现实世界的不确定性提出了模糊集. 然而, 除了现实世界的不确定性, 决策者自身的不确定性也会导致最终决策结果很难达成一致. 基于上述考虑, Torra<sup>[2]</sup>在2010年提出了模糊集的另一广义形式, 即犹豫模糊集. 但在实际问题中, 由于决策者知识的匮乏和决策问题的复杂性等因素, 决策者常常不能使用精确的数值描述他们的观点, 此时用语言术语项来代替数值是一种更加贴近人们认知过程的方式. 同时, 由于决策者可能很难用单个的语言术语项准确地表达其对一个语言变量的判断, Rodríguez等<sup>[3]</sup>在犹豫模糊集定义的基础上提出了犹豫模糊语言集的概念.

在引入犹豫模糊语言集的概念之后, 许多学

者提出了不同的犹豫模糊语言多准则决策方法. Rodríguez等<sup>[3]</sup>给出了一种以语言集成算子为核心的求解多准则语言决策问题的简单方法; Beg等<sup>[4]</sup>将经典的TOPSIS方法推广到犹豫模糊语言的决策环境中; Liao等<sup>[5]</sup>提出了一种基于满意度最大化的决策方法; Wei等<sup>[6]</sup>提出了一种基于得分函数的犹豫模糊语言TODIM方法; Liao等<sup>[7]</sup>将犹豫模糊的VIKOR方法推广到含有犹豫模糊语言信息的决策问题中. 此外, 以犹豫模糊语言信息的Cosine距离测度为基础, Liao等<sup>[8]</sup>提出了新的HFL-TOPSIS方法和HFL-VIKOR方法; Wang等<sup>[9]</sup>将经典的占优排序方法——ELECTRE方法与HFLTS相结合, 提出了一种基于HFLTS的占优排序方法; 谭倩云等<sup>[10]</sup>提出了基于犹豫模糊语言的PROMETHEE多准则决策方法. 在提出了HFLTS的基于可能性的比较关系之后, Lee等<sup>[11]</sup>提出了一种

收稿日期: 2016-06-13; 修回日期: 2016-09-07.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71501135, 71571123); 四川大学优秀青年学者科研基金项目(2016SCU04A23).

作者简介: 徐泽水(1968—), 男, 教授, 博士生导师. 从事决策理论与技术、信息集成理论和聚类算法、模糊数学与优化算法等研究; 潘玲(1993—), 女, 硕士生, 从事决策理论与方法的研究.

<sup>†</sup>通讯作者. E-mail: xuzeshui@263.net

新的模糊决策方法来求解含有HFLTS的定性决策问题,并将其应用于群体决策过程。

MACBETH<sup>[12]</sup>是一种多准则交互式评价方法,它允许决策者根据不同准则下对方案的定性比较来评估方案.由Bana等<sup>[13]</sup>提出的M-MACBETH决策支持系统可以自动验证判断矩阵的一致性,并提出改进建议.本文基于传统的MACBETH方法,提出一种新的多准则语言群决策模型.将MACBETH方法扩展到犹豫模糊语言环境下,通过犹豫模糊语言判断矩阵来获取MACBETH方法所需的语言判断矩阵,从而得到各个方案在每个准则下的得分以及每个准则相应的权重,计算出各个方案的加权平均总分数,最终解决犹豫模糊语言多准则决策问题.相对于其他决策方法,本文方法适用范围更加广泛,对专家给出的决策信息要求更低。

### 1 预备知识

定义1<sup>[14]</sup> 设  $S = \{s_g | g = 0, 1, \dots, \tau\}$  为语言术语集,  $a_i \in A, i = 1, 2, \dots, N, A$  上的犹豫模糊语言集  $H_S$  的数学形式为

$$H_S = \{\langle a_i, h_S(a_i) \rangle | a_i \in A\}. \quad (1)$$

其中:函数  $h_S(a_i) : A \rightarrow S$  指元素  $a_i \in A$  映射到集合  $X \subset A$  的可能隶属度,  $h_S(a_i)$  是语言术语集  $S$  中的一列连续的可能取值,且  $h_S(a_i) = \{s_{\phi_l}(a_i) | s_{\phi_l}(a_i) \in S, l = 1, 2, \dots, L(a_i)\}; \phi_l \in \{0, 1, \dots, \tau\}$  为语言术语  $s_{\phi_l}(a_i)$  的下标,  $L(a_i)$  为  $h_S(a_i)$  中语言术语的个数.为简化起见,称  $h_S(a_i)$  为犹豫模糊语言数(HFLE),  $H_S$  为语言术语集  $S$  上的全部犹豫模糊语言数的集合。

定义2<sup>[15]</sup> 给定一个方案集  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  和一个语言术语集  $S = \{s_g | g = 0, 1, \dots, \tau\}$ , 则可以将犹豫模糊语言的判断矩阵表示为一个矩阵  $P = (p_{ij})_{n \times n} \subset A \times A$ , 其中  $p_{ij} = \{p_{ij}^l | l = 1, 2, \dots, L(p_{ij})\}$  ( $L(p_{ij})$  是  $p_{ij}$  中语言术语的数量) 是一个HFLE, 表示  $a_i$  对  $a_j$  的偏好度, 且对于所有的  $i, j = 1, 2, \dots, n, p_{ij} (i < j)$  满足以下条件:

$$p_{ij}^l \oplus p_{ji}^l = s_0, p_{ii} = s_0, L(p_{ij}) = L(p_{ji}), \quad (2)$$

以及

$$p_{ij}^l < p_{ji}^{l+1}, p_{ji}^{l+1} < p_{ij}^l, \quad (3)$$

其中  $p_{ij}^l$  为  $p_{ij}$  中的第  $l$  个语言术语。

定义3<sup>[16]</sup> 设  $S$  为语言术语集,  $G_H$  为文本自由语法, 则该文本自由语法的元素  $G_H = (V_N, V_T, I, P)$  可定义如下:

$V_N = \{\text{主词, 复合词, 一元关系, 二元关系, 连词}\};$

$V_T = \{\text{“少于”, “多于”, “至少”, “至多”, “在...之间”, “和”, “s_0”, “s_1”, \dots, “s_\tau”}\};$

$I \in V_N;$

$P = \{I \text{ 指主词或复合词; 主词指 “s_0”, “s_1”, \dots, “s_\tau”}; \text{复合词指一元关系+主词, 或二元关系+连词+主词; 一元关系指 “少于” 或 “多于”}; \text{二元关系指 “在...之间”}; \text{连词指 “和”}\}.$

定义4<sup>[16]</sup> 设  $E_{G_H}$  为将文本自由语法  $G_H$  生成的语言表达式  $ll \in S_{ll}$  转化为犹豫模糊语言集  $H_S$  的函数,  $S$  为语法  $G_H$  所采用的语言术语集,  $S_{ll}$  为语法  $G_H$  所生成的所有表达式的集合, 则由语法  $G_H$  的生成规则所生成的语言表达式可通过转化公式  $E_{G_H} : S_{ll} \rightarrow H_S$  转换为犹豫模糊语言集, 即

$$\begin{aligned} E_{G_H}(s_g) &= \{s_g | s_g \in S\}, \\ E_{G_H}(\text{至多 } s_\alpha) &= \{s_g | s_g \in S \text{ 且 } s_g \leq s_\alpha\}, \\ E_{G_H}(\text{少于 } s_\alpha) &= \{s_g | s_g \in S \text{ 且 } s_g < s_\alpha\}, \\ E_{G_H}(\text{至少 } s_\alpha) &= \{s_g | s_g \in S \text{ 且 } s_g \geq s_\alpha\}, \\ E_{G_H}(\text{多于 } s_\alpha) &= \{s_g | s_g \in S \text{ 且 } s_g > s_\alpha\}, \\ E_{G_H}(\text{在 } s_\alpha \text{ 和 } s_\beta \text{ 之间}) &= \\ &= \{s_g | s_g \in S \text{ 且 } s_\alpha \leq s_g \leq s_\beta\}. \end{aligned}$$

MACBETH<sup>[12-13]</sup>是一种多准则交互式评价方法,其允许决策者或决策群体根据在不同准则下的相对重要性进行简单的定性比较来评估方案.因此,MACBETH区别于其他多准则模型的地方在其只需要对两个方案的相对重要性进行定性的两两比较.该方法基于一个基础的多准则聚合程序.首先其致力于将方案  $A_i$  在准则  $C_k$  下的偏好信息  $C_k(A_i)$  转化为在标准化尺度下代表方案  $A_i$  的相对重要性的新偏好信息;然后它根据准则间重要性的两两比较矩阵定义出每个准则的权重  $w_k$ ;最后得出每个方案在标准化尺度下的加权平均总和  $v_a$ .即考虑有  $n$  个评估准则,可以建立如下模型:

$$v_a = \sum_{k=1}^n w_k v_k(c_k(a)). \quad (4)$$

M-MACBETH决策支持系统由Bana等<sup>[12]</sup>提供,它可以自动验证由决策者表达的判断矩阵的一致性,并且在不一致性的情况下,提出相应的解决方法.使用该系统,准则的权重可以通过决策者的语义判断提供.该决策支持系统可以支持决策者实现整个多准则决策过程.同时,它还可以支持对决策结果进行敏感性和鲁棒性等拓展分析。

### 2 基于MACBETH方法的犹豫模糊语言多准则决策方法

Step 1 定义一个多准则决策问题:

1) 一个由  $n$  个方案组成的方案集  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\};$

2) 一个由  $m$  个准则组成的准则集  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}.$

Step 2 邀请专家对上述问题用语言表达式对

每个方案在每个准则下的表现给出定性评估,并对准则的相对重要性进行排序。

**Step 3** 由文本自由语法  $G_H$  生成语言表达式  $l$ 。

**Step 4** 根据  $E_{G_H}$  函数将语言表达式  $l$  转化为犹豫模糊语言集  $H_S$ 。

**Step 5** 根据如下规则得出该犹豫模糊语言集  $H_S$  的判断矩阵  $P = (p_{ij})_{n \times n}$ :

1) 任意给定两个语言术语  $s_\alpha, s_\beta \in S$ , 其运算规则<sup>[17]</sup>为

$$s_\alpha \oplus s_\beta = s_{\alpha+\beta}, \text{neg}(s_\alpha) = s_{-\alpha},$$

特别地,  $\text{neg}(s_0) = s_0$ . (6)

此外,当  $s_\alpha$  超出语言术语集的范围时,其运算法则可表示为

$$s_\alpha = \begin{cases} s_{\max}, & s_\alpha > s_{\max}; \\ s_{\min}, & s_\alpha < s_{\min}. \end{cases} \quad (6)$$

2) 任意给定两个犹豫模糊语言数  $h_S(a_{ik})$  和  $h_S(a_{jk}) \in H_S$ , 可以定义其运算法则<sup>[16]</sup>为

$$h_S(a_{ik}) \oplus h_S(a_{jk}) = \bigcup_{s_{\phi_l}(a_{ik}) \in h_S(a_{ik}), \bar{s}_{\phi_l}(a_{jk}) \in h_S(a_{jk})} \{s_{\phi_l}(a_{ik}) \oplus \bar{s}_{\phi_l}(a_{jk})\}. \quad (7)$$

3) 任意给定两个犹豫模糊语言数  $h_S(a_{ik})$  和  $h_S(a_{jk}) \in H_S$ , 在准则  $c_k$  下方案  $a_i$  对  $a_j$  的偏好度的运算法则定义为

$$p_{ij}(k) = \text{neg}(h_S(a_{jk})) \oplus h_S(a_{ik}). \quad (8)$$

**注1** 在计算过程中,会有重复的语言术语出现,为了保证得到运算的一致性及避免矩阵元素中出现多值犹豫模糊语言集<sup>[18]</sup>,在犹豫模糊语言判断矩阵中去掉了重复的语言术语。

**Step 6** 根据判断矩阵  $P$ , 将方案进行两两比较,得到如下语言成对判断矩阵。

任意给定两个方案  $a_i$  和  $a_j$ , 根据其在准则  $c_k$  下的偏好度  $p_{ij}(k)$ , 通过应用基本语言术语集  $S_T = \{s_0, s_1, \dots, s_6\}$  作为输入信息, 令  $p_{ij}^l$  为  $s_d$ , 则一个语言偏差度  $d_{ij}$  的运算法则<sup>[19]</sup>如下: 1) 当  $|d| = 0$  时,  $d_{ij} = \text{无}$ ; 2) 当  $|d| = 1$  时,  $d_{ij} = \text{非常弱}$ ; 3) 当  $|d| = 2$  时,  $d_{ij} = \text{弱}$ ; 4) 当  $|d| = 3$  时,  $d_{ij} = \text{中等}$ ; 5) 当  $|d| = 4$  时,  $d_{ij} = \text{强}$ ; 6) 当  $|d| = 5$  时,  $d_{ij} = \text{非常强}$ ; 7) 当  $|d| = 6$  时,  $d_{ij} = \text{极端强}$ 。

**Step 7** 通过 M-MACBETH 决策支持系统软件对方案进行排序。

在得到语言成对比较矩阵后,根据专家对准则相对重要性的排序,通过 M-MACBETH 决策支持系统软件得到准则的权重,进而得到加权的判断矩阵。对专家而言,根据其偏好对准则进行排序不难,因此,该方法具有较高的可行性。

最后, M-MACBETH 决策支持系统根据加权判

断矩阵建立一个加权尺度,从而获取一系列方案的加权尺度。该模型建立完成后,可通过得分表得出方案的排序。

对于犹豫模糊语言多准则决策问题,许多学者提出了不同的决策方法。Rodríguez 等<sup>[3]</sup>给出了通过语言集成算子来求解多准则语言决策问题的简单方法。语言集成算子是建立在准则间完全可补偿条件下的,但在真实环境中准则间不一定是完全可补偿的,例如药品的价格很便宜,但不能完全弥补其效果很差这一不足,因此,该方法有一定的局限性。而 MACBETH 方法没有上述缺陷,其准则权重的确立是建立在决策者对其偏好的基础上的,因此,它具有不完全补偿性。其次,MACBETH 方法的可操作性很强,因为它只需要决策者提供其对各个方案在每个准则下的语义判断,并且该语义判断可以是模糊不确定的,有效降低了决策者的评估难度。另外,该方法可以用 M-MACBETH 决策支持系统软件协助处理决策评估信息,有效降低了决策者的工作量。

### 3 实例分析

为了表明所提出方法的可行性及合理性,本文将结合具体实例进行验证。

中国每年有数百万毕业生加入求职者的行列,大多数毕业生都会面临如何挑选就职公司的决策问题。由于大部分毕业生对所应聘公司的了解主要来自公司的官方网站及各大论坛上网友的评价,其所应聘公司只有一个大概模糊的判断,很难对其作出精确的定量表达。在这样的背景条件下,可以采用基于 MACBETH 方法的犹豫模糊语言多准则决策方法来协助应届毕业生作出决策。具体实例如下。

应届生  $L$  收到了 3 家企业的录取通知  $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ , 其对就职公司的要求有如下几点: 福利待遇 ( $C_1$ ), 发展前景 ( $C_2$ ), 企业文化 ( $C_3$ ), 所在区域 ( $C_4$ ), 培训体系 ( $C_5$ )。下面通过基于 MACBETH 方法的犹豫模糊语言多准则决策方法帮助  $L$  完成决策过程。

#### 3.1 实例详解

**Step 1** 定义该多准则决策问题如下:

1) 一个由 3 个方案构成的方案集  $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ ;

2) 一个由 5 个准则构成的准则集  $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$ 。

上述 5 个准则的语言术语集可以表示为  $S = \{s_0 = \text{极差}, s_1 = \text{差}, s_2 = \text{略差}, s_3 = \text{中等}, s_4 = \text{略好}, s_5 = \text{好}, s_6 = \text{极好}\}$ 。

**Step 2/Step 3** 邀请  $L$  对 3 家企业在这 5 个准则下的表现用语言表达式给出定性评估,并且对这 5 个准则的相对重要性进行排序。评估结果见表 1。

表1 语言表达式表示的3家企业评估结果

方案	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$A_1$	在略好到好之间	在差到略差之间	少于略差	在略好到好之间	在差到略差之间
$A_2$	至多差	在中等到略好之间	在略差到中等之间	少于中等	多于略好
$A_3$	在略差到中等之间	至少好	至少略好	极好	在中等到略好之间

根据上文定义的语言偏差度 $d_{ij}$ , 应届生 $L$ 对5个准则的相对重要性进行排序, 见表2.

表2 准则相对重要性排序矩阵

准则	$C_1$	$C_2$	$C_5$	$C_3$	$C_4$
$C_1$	-	非常弱	弱	中等	强
$C_2$		-	非常弱	弱	中等
$C_5$			-	弱	中等
$C_3$				-	弱
$C_4$					-

**Step 4** 根据 $E_{GH}$ 函数将表1中的语言表达式 $ll$ 转化为犹豫模糊语言集 $H_S$ , 见表3.

表3 由犹豫模糊语言集表示的3家企业评估结果

方案	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$A_1$	$\{s_4, s_5\}$	$\{s_1, s_2\}$	$\{s_0, s_1\}$	$\{s_4, s_5\}$	$\{s_1, s_2\}$
$A_2$	$\{s_0, s_1\}$	$\{s_3, s_4\}$	$\{s_2, s_3\}$	$\{s_0, s_1, s_2\}$	$\{s_5, s_6\}$
$A_3$	$\{s_2, s_3\}$	$\{s_5, s_6\}$	$\{s_4, s_5, s_6\}$	$\{s_6\}$	$\{s_3, s_4\}$

**Step 5** 计算犹豫模糊语言集 $H_S$ 的判断矩阵 $P$ , 结果如下:

$$P(C_1) =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_0\} & \{s_3, s_4, s_5\} & \{s_1, s_2, s_3\} \\ \{s_{-5}, s_{-4}, s_{-3}\} & \{s_0\} & \{s_{-1}, s_{-2}, s_{-3}\} \\ \{s_{-1}, s_{-2}, s_{-3}\} & \{s_1, s_2, s_3\} & \{s_0\} \end{bmatrix},$$

$$P(C_2) =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_0\} & \{s_{-3}, s_{-2}, s_{-1}\} & \{s_{-5}, s_{-4}, s_{-3}\} \\ \{s_1, s_2, s_3\} & \{s_0\} & \{s_{-3}, s_{-2}, s_{-1}\} \\ \{s_3, s_4, s_5\} & \{s_1, s_2, s_3\} & \{s_0\} \end{bmatrix},$$

$$P(C_3) =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_0\} & \{s_{-3}, s_{-2}, s_{-1}\} & \{s_{-6}, s_{-5}, s_{-4}, s_{-3}\} \\ \{s_1, s_2, s_3\} & \{s_0\} & \{s_{-2}, s_{-1}, s_0, s_1\} \\ \{s_3, s_4, s_5, s_6\} & \{s_{-1}, s_0, s_1, s_2\} & \{s_0\} \end{bmatrix},$$

$$P(C_4) =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_0\} & \{s_2, s_3, s_4, s_5\} & \{s_{-2}, s_{-1}\} \\ \{s_{-5}, s_{-4}, s_{-3}, s_{-2}\} & \{s_0\} & \{s_{-6}, s_{-5}, s_{-4}\} \\ \{s_1, s_2\} & \{s_4, s_5, s_6\} & \{s_0\} \end{bmatrix},$$

$$P(C_5) =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_0\} & \{s_{-5}, s_{-4}, s_{-3}\} & \{s_{-3}, s_{-2}, s_{-1}\} \\ \{s_3, s_4, s_5\} & \{s_0\} & \{s_1, s_2, s_3\} \\ \{s_1, s_2, s_3\} & \{s_{-3}, s_{-2}, s_{-1}\} & \{s_0\} \end{bmatrix}.$$

**Step 6** 根据判断矩阵 $P$ , 将方案进行两两比较, 得出语言成对判断矩阵, 见表4.

表4 语言成对判断矩阵

$C_1$	$A_1$	$A_3$	$A_2$
$A_1$	-	{非常弱, 弱, 中等}	{中等, 强, 非常强}
$A_3$		-	{非常弱, 弱, 中等}
$A_2$			-
$C_2$	$A_3$	$A_2$	$A_1$
$A_3$	-	{非常弱, 弱, 中等}	{中等, 强, 非常强}
$A_2$		-	{非常弱, 弱, 中等}
$A_1$			-
$C_3$	$A_3$	$A_2$	$A_1$
$A_3$	-	{非常弱, 弱, 中等, 强}	{中等, 强, 非常强, 强}
$A_2$		-	{非常弱, 弱, 中等}
$A_1$			-
$C_4$	$A_3$	$A_1$	$A_2$
$A_3$	-	{非常弱, 弱}	{强, 非常强, 极端强}
$A_1$		-	{弱, 中等, 强, 非常强}
$A_2$			-
$C_5$	$A_2$	$A_3$	$A_1$
$A_2$	-	{非常弱, 弱, 中等}	{中等, 强, 非常强}
$A_3$		-	{非常弱, 弱, 中等}
$A_1$			-

**Step 7** 将表2和表4的内容输入M-MACBETH决策支持系统, 得出方案排序结果, 见表5.

表5 基于MACBETH方法的犹豫模糊语言多准则决策方法的最终结果

Options	Overall	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$A_1$	34.65	100	0	0	62.5	0
$A_2$	43.19	0	50	50	0	100
$A_3$	72.73	50	100	100	100	50
[ all upper ]	100	100	100	100	100	100
[ all lower ]	0	0	0	0	0	0
Weights	0.3181	0.2727	0.1364	0.0455	0.2273	

根据表5, 得出这3家企业的排序为 $A_3 \succ A_2 \succ A_1$ , 因此, 应届生 $L$ 应选择去 $A_3$ 公司就职.

### 3.2 对比分析

为了进一步证明该方法的可行性和合理性, 在上述实例的基础上, 运用基于可能度的犹豫模糊语言PROMETHEE方法<sup>[10]</sup>对评估结果进行比较分析, 比较结果如下所示.

**Step 1** 由于上述准则皆为效益型准则, 标准化决策矩阵与犹豫模糊语言决策矩阵相同.

**Step 2** 计算在准则 $k$ 下 $a_{ik}$ 和 $a_{jk}$ 的可能度

$p_T(a_{ik}, a_{jk})$ , 即

$$\begin{aligned}
 p_T(a_{i1}, a_{j1}) &= \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 p_T(a_{i2}, a_{j2}) &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 p_T(a_{i3}, a_{j3}) &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 p_T(a_{i4}, a_{j4}) &= \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 1 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 p_T(a_{i5}, a_{j5}) &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 1 \\ 1 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

**Step 3** 得出每一对方案  $a_{ik}$  和  $a_{jk}$  的综合优先指数, 见表6.

表6 综合优先指数表

方案	$A_1$	$A_2$	$A_3$
$A_1$	0.5000	0.3636	0.3181
$A_2$	0.6364	0.5000	0.2273
$A_3$	0.6819	0.7727	0.5000

**Step 4** 计算各方案的净流值  $\varphi(A_1) = -0.2122$ ,  $\varphi(A_2) = -0.0909$ ,  $\varphi(A_3) = 0.3031$ . 由此可知, 这3家企业的排序为  $A_3 \succ A_2 \succ A_1$ , 与本文所提出方法相同.

通过上述比较分析可以看出: PROMETHEE方法因为要计算净流量会丢失大量信息, 而MACBETH方法有效地避免了该问题, 因此, 相应的决策结果更加合理; PROMETHEE方法需要手动计算, 耗时且繁琐, 而MACBETH方法可以通过软件进行计算, 非常简便易行.

### 3.3 灵敏度分析

为了研究上述实例中准则权重的变化对最后的企业排序结果产生的影响, 对上述模型的准则进行灵敏度分析. 图1显示了各个准则权重的变化对各个企业总得分的影响. 在每个准则对应的图表中各个企业的直线代表其总得分随该准则权重的变化而变化的程度. 而每个图表中垂直的线条代表该准则当前的权重.

当“福利待遇”的权重从0增加到100%时,  $A_1$ 的总得分随之增加,  $A_2$ 和 $A_3$ 的总得分随之减少(图1(a)). 对“发展前景”而言, 可以看出随着其权重的增加,  $A_1$ 的总得分下降趋势比较明显,  $A_2$ 的总得分上

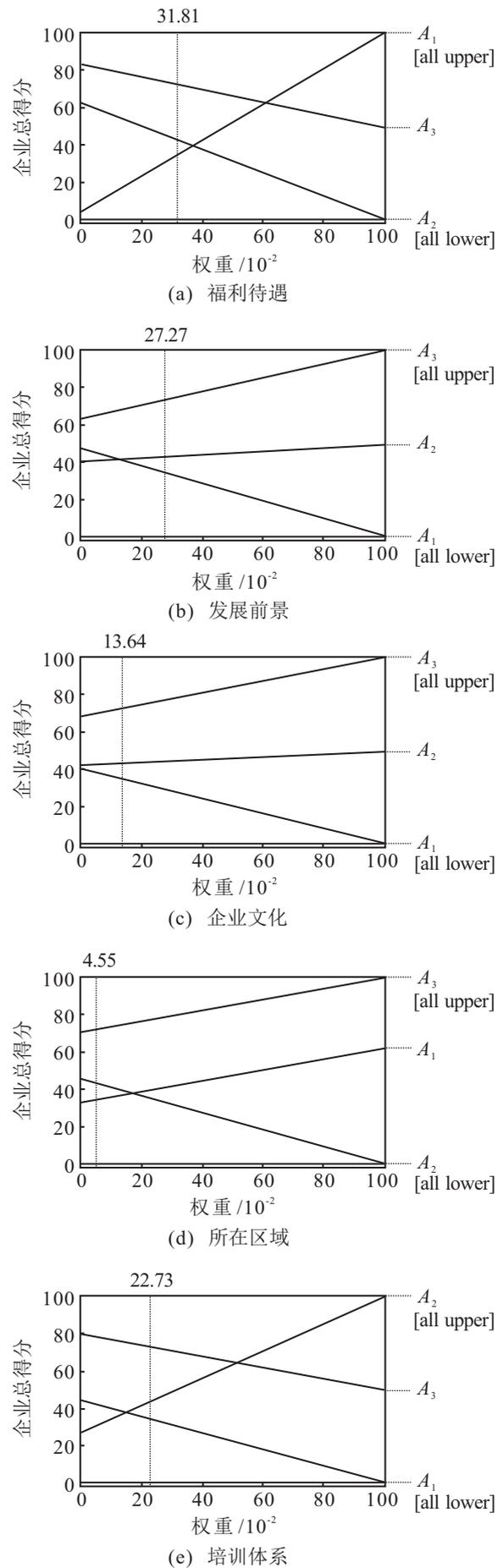


图1 每个准则权重变化的灵敏度分析

涨趋势较为平缓,  $A_3$  的总得分上涨趋势比较明显(图1(b)). 对“企业文化”而言,随着其权重的增加,除了  $A_1$  的总得分下降之外,  $A_2$  和  $A_3$  的总得分都随之增加(图1(c)). 当“所在区域”的权重不断增加时,除了  $A_2$  的总得分下降之外,  $A_1$  和  $A_3$  的总得分都随之增加,且趋势较图1(c)明显(图1(d)). 而“培训体系”的企业变化趋势则恰好与“所在区域”相反,当其权重不断增加时,除了  $A_2$  的总得分上升之外,  $A_1$  和  $A_3$  的总得分都随之下降(图1(e)).

上述分析解释了在实际决策中决策者可以任意改变其对准则的重要程度判断,并对最终结果产生影响.

由图2可以发现,以“福利待遇”准则为例,任意两个企业的直线交点所对应的准则权重都是企业排序结果改变的转折点. 当“福利待遇”的权重小于61.3时,企业  $A_3$  的总得分最高;当其权重大于61.3时,  $A_1$  的总得分最高. 同理可得,其他准则下企业之间的交集也是企业排序结果改变的转折点.

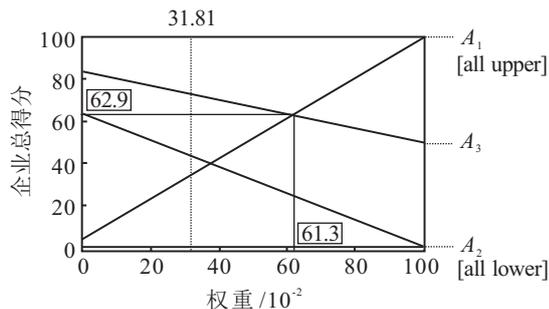


图2 在准则“福利待遇”下企业之间的交集

通过上述分析可以详细了解各个准则权重的变化对企业最终排序结果的影响,从而验证了该决策方法模型的稳定性及合理性,同时也证明了该模型适用于上述实例.

## 4 结论

本文基于传统MACBETH方法的思想,用犹豫模糊语言判断矩阵代替决策者直接给出的语言成对判断矩阵,降低了决策者的工作量,并且拓宽了决策信息的范围,包含了不确定和犹豫的信息. 在此基础上,提出了一种基于MACBETH方法的犹豫模糊语言多准则决策方法. 该决策方法可以有效地避免信息丢失,同时其决策过程可通过MACBETH决策支持系统协助完成,相较于其他决策方法更加简便易行. 其次,该方法可将决策者的定性语义判断转化为定量权重信息,当决策者很难定量判断决策准则的相对重要性时,该方法可以提供决策支持. 该方法可简洁有效地解决决策者给出的偏好信息不一致的问题,在不一致的情况下,MACBETH决策支持系统可以列

举不一致的原因,并给出相应的一致性判断建议. 未来的研究方向可考虑采用其他方法确定准则权重,也可考虑用其他算子综合偏好信息,从而进一步改进该方法. 另外,还可考虑将该方法拓展到概率型犹豫模糊语言环境中,使决策信息更加完善,以及考虑将其应用于群体决策中.

## 参考文献(References)

- [1] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. Information and Control, 1965, 8(3): 338-353.
- [2] Torra V. Hesitant fuzzy set[J]. Int J of Intelligent Systems, 2010, 25(6): 529-539.
- [3] Rodríguez R M, Martínez L, Herrera F. Hesitant fuzzy linguistic terms sets for decision making[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2012, 20(1): 109-119.
- [4] Beg I, Rashid T. TOPSIS for hesitant fuzzy linguistic term sets[J]. Int J of Intelligent Systems, 2013, 28(12): 1162-1171.
- [5] Liao H C, Xu Z S, Zeng X J. Distance and similarity measures for hesitant fuzzy linguistic term sets and their application in multi-criteria decision making[J]. Information Sciences, 2014, 271(1): 125-142.
- [6] Wei C P, Ren Z L, Rodriguez R M. A hesitant fuzzy linguistic TODIM method based on a score function[J]. Int J of Computational Intelligence Systems, 2015, 8(4): 701-712.
- [7] Liao H C, Xu Z S, Zeng X J. Hesitant fuzzy linguistic VIKOR method and its application in qualitative multiple criteria decision making[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2015, 23(5): 1343-1355.
- [8] Liao H C, Xu Z S. Approaches to manage hesitant fuzzy linguistic information based on the cosine distance and similarity measures for HFLTSs and their application in qualitative decision making[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(12): 5328-5336.
- [9] Wang J Q, Wang J, Chen Q H, et al. An outranking approach for multi-criteria decision-making with hesitant fuzzy linguistic term sets[J]. Information Sciences, 2014, 280(1): 338-351.
- [10] 谭倩云, 冯向前, 张华荣. 基于可能度的犹豫模糊语言 PROMETHEE方法[J]. 统计与决策, 2016(9): 82-85. (Tan Q Y, Feng X Q, Zhang H R. A possibility-based hesitant fuzzy linguistic PROMETHEE method[J]. Statistics & Decision, 2016(9): 82-85.)
- [11] Lee L W, Chen S M. Fuzzy decision making based on likelihood-based comparison relations of hesitant fuzzy linguistic term sets and hesitant fuzzy linguistic operators[J]. Information Sciences, 2015, 294(10): 513-529.
- [12] Bana e Costa C A, Vansnick J C. Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model[J]. J of Multi-criteria Decision Analysis, 1997, 6(2): 107-114.

- [13] Bana e Costa C A, Corte J M, Vansnick J C. Macbeth(measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique)[M]. Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science, 2011: 2945-2950.
- [14] Liao H C, Xu Z S, Zeng X J, et al. Qualitative decision making with correlation coefficients of hesitant fuzzy linguistic term sets[J]. Knowledge-Based Systems, 2015, 76(9): 127-138.
- [15] Zhu B, Xu Z S. Consistency measures for hesitant fuzzy linguistic preference relations[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2014, 22(1): 35-45.
- [16] 廖虎昌. 复杂模糊多准则决策理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 14-16.  
(Liao H C. Multiple criteria decision making methods and applications with complicated fuzzy information[M]. Beijing: Science Press, 2016: 14-16.)
- [17] Xu Z S. Uncertain linguistic aggregation operators based approach to multiple attribute group decision making under uncertain linguistic environment[J]. Information Sciences, 2004, 168(1): 171-184.
- [18] Jing Wang, Jian-qiang Wang, Hong-yu Zhang, et al. Multicriteria group decision-making approach based on 2-tuple linguistic aggregation operators with multi-hesitant fuzzy linguistic information[J]. Int J of Fuzzy Systems, 2016, 18(1): 81-97.
- [19] Dhoubi D. An extension of MACBETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes[J]. Omega, 2014, 42(1): 25-32.

(责任编辑: 李君玲)

## 第29届中国控制与决策会议(2017CCDC)在重庆召开

5月28日~30日,第29届中国控制与决策会议(2017CCDC)在重庆君豪大饭店隆重召开。

本次盛会由东北大学、IEEE新加坡工业电子分会和中国自动化学会信息物理系统控制与决策专业委员会联合主办,重庆大学具体承办,IEEE控制系统协会、中国人工智能学会(CAAI)、中国自动化控制理论专业委员会和东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室协办。来自海内外高等院校和科研机构的1200余位代表出席了会议。其中,海外代表分别来自美国、俄罗斯、日本、新加坡、加拿大、西班牙、澳大利亚、巴基斯坦、以色列、南非、台湾、香港等13个国家和地区。这是一次国际学术盛会,业界精英齐聚一堂,交流学术思想,讨论学术问题,充满了浓厚的学术气氛。

在5月28日上午举行的开幕式上,大会副总主席、重庆大学自动化学学院院长宋永端教授主持开幕式,东北大学副校长王福利教授致开幕辞,重庆大学副校长杨丹教授致欢迎辞,国际程序委员会主席、新加坡南洋理工大学Changyun Wen教授介绍了会议程序。大会涵盖了控制与决策领域的相关课题,主题涉及理论与应用两方面。会议共设大会报告4个、杰出讲座8个、分会场报告152场次,张贴论文达530余篇。4位大会报告人分别为美国斯坦福大学Stephen P. Boyd教授、美国南加利福尼亚大学Petros Ioannou教授、美国科罗拉多州立大学Edwin K. P. Chong教授和中国科学院院士、北京航空航天大学副校长房建成教授。此外,大会还邀请了澳大利亚纽卡斯尔大学Zhiyong Chen教授、澳大利亚新南威尔士大学Z.Y. Dong教授、中国华中科技大学关治洪教授、美国罗德岛大学Haibo He教授、中国东北大学黄敏教授、瑞典皇家理工学院Karl H. Johansson教授,中国科学院大学乔红教授,日本上智大学Tielong Shen教授8位著名学者,

就当前控制与决策领域的热点问题和最新研究成果作了杰出讲座。这些报告对当前前沿学科的一些热点问题进行了阐述和评论,受到代表们的普遍欢迎。分会场报告及张贴论文内容涉及控制与决策、自动化、机器人和新兴技术领域等方面。代表们分别宣读了论文,并就共同关心的问题进行了深入研讨。每位作者都能认真回答其他代表提出的问题,气氛非常热烈。

在5月29日举行的张嗣瀛青年优秀论文奖颁奖仪式上,有5位学者获得该奖项提名。最终,清华大学沈心悦和浙江大学乔勇凭借其优秀的论文和出色的报告赢得此奖项。国际程序委员会主席、美国纽约大学Zhong-Ping Jiang教授介绍了奖项评选过程,重庆大学自动化学学院院长宋永端教授向获奖者和提名奖获得者颁发证书,东北大学副校长王福利教授向获奖者和提名奖获得者颁发奖金。本届会议张嗣瀛优秀青年论文奖的两为获得者分别获得奖金6500元,获得提名奖的奖金为3000元。

2018年是中国控制与决策会议创办30周年,为了纪念CCDC从创办到壮大的风雨历程,会议将回到主办单位所在地沈阳市举办。东北大学研究生院常务副院长杨光红教授介绍了第30届中国控制与决策会议(2018CCDC)的筹备情况,并欢迎各位代表积极参加会议。

本届会议发行了《第29届中国控制与决策会议论文集》光盘。光盘中的1430篇英文论文将进入IEEE Xplore Data Base,并被EI检索。

本届会议充分展现了控制与决策研究领域的发展现状,对促进学术交流、推动控制与决策学科的发展有着十分积极的促进作用。

中国控制与决策会议秘书处