



中国科技期刊卓越行动计划项目入选期刊

控制与决策

CONTROL AND DECISION



基于EDAS和共识模型的动态概率语言多属性群决策方法

张发明, 朱姝琪

引用本文:

张发明, 朱姝琪. 基于EDAS和共识模型的动态概率语言多属性群决策方法[J]. *控制与决策*, 2024, 39(4): 1379–1386.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2022.1329>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

考虑个体累积共识贡献的犹豫模糊语言自适应共识模型

Adaptive consensus model with hesitant fuzzy linguistic information considering individual cumulative consensus contribution

控制与决策. 2021, 36(1): 187–195 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0556>

基于语言共识模型的电子商务信用风险评价方法

An approach to E-commerce credit risk assessment based on linguistic consensus model

控制与决策. 2021, 36(6): 1465–1471 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1398>

基于云模型和多层权重求解的多粒度语言大群体决策方法

Multi-granularity linguistic large group decision-making based on cloud model and multi-layer weight determination

控制与决策. 2021, 36(9): 2257–2266 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0102>

基于策略权重的模糊多属性决策方法

Strategic weight manipulation in fuzzy multiple attribute decision making

控制与决策. 2021, 36(5): 1259–1267 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0542>

基于前景理论和模糊理论的在线多属性采购拍卖 供应商选择决策

Decision method of supplier selection for online multi-attribute procurement auction based on prospect theory and fuzzy theory

控制与决策. 2020, 35(11): 2637–2645 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1768>

基于EDAS和共识模型的动态概率语言多属性群决策方法

张发明[†], 朱姝琪

(桂林电子科技大学 商学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 针对评价信息为概率语言术语且属性权重未知的多属性群决策问题, 提出一种新的、基于离平均解距离(EDAS)和共识模型的动态概率语言多属性后悔理论群决策方法. 首先, 考虑到现实决策中决策者面对方案选择时会呈现“有限理性”的行为, 将后悔理论融入群决策方法的研究中, 通过计算决策者的后悔-欣喜值来度量其感知效用; 其次, 将EDAS方法与概率语言信息处理相结合用于方案排序, 并基于最大化偏差法思想, 给出一种概率语言多属性决策问题属性权重的确定方法, 以得到初始解决方案; 然后, 对初始解决方案进行共识测度, 进一步根据个人属性集得到个人方案集, 通过共识模型的动态反馈调整, 得到符合大多数决策者意愿的最终解决方案; 最后, 以共享自行车设计方案的选择为例对所提出方法进行验证, 并通过对比分析说明方法的可行性和有效性.

关键词: 共识模型; 后悔理论; 概率语言; 多属性群决策; EDAS方法; 属性权重

中图分类号: C934

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2022.1329

引用格式: 张发明, 朱姝琪. 基于EDAS和共识模型的动态概率语言多属性群决策方法[J]. 控制与决策, 2024, 39(4): 1379-1386.

A dynamic probabilistic linguistic multi-attribute group decision making method based on EDAS and consensus model

ZHANG Fa-ming[†], ZHU Shu-qi

(School of Business, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: With respect to multi-attribute group decision making problems under the probabilistic linguistic term set environment where the attribute weights are unknown, a new probabilistic linguistic multi-attribute group decision making method based on evaluation based on distance from average solution(EDAS) and consensus models is proposed. Firstly, considering the “limited rationality” of decision makers, regret theory is incorporated into the study of group decision making methods to measure the perceived utility of decision makers through their regret-ecstatic values. Secondly, the EDAS method is applied to solution ranking by combining the information processing of probabilistic linguistic term sets, and a method for determining the attribute weights of a probabilistic linguistic multi-attribute decision problem is given to obtain the initial solution based on the idea of maximizing deviation. Then, the initial solution is measured by consensus, and through dynamic feedback adjustment, the final solution that meets the wishes of most decision makers is obtained. Finally, the proposed method is validated with the selection of the shared bicycle design scheme as an example, and the feasibility and effectiveness of the method are illustrated by comparative analysis.

Keywords: consensus model; regret theory; probabilistic language; multi-attribute group decision-making; EDAS method; attribute weights

0 引言

决策与我们的生活息息相关. 在进行实际决策时, 由于客观事物的复杂性及决策者自身水平的局限性, 个体决策者往往无法准确描述客观事物及其属性特征, 进而倾向于用语言评价信息等不确定性的形式

来表达个人偏好. 对此, Zadeh^[1]定义了语言变量, 并提出了模糊集理论. 自此, 基于模糊集的决策理论与方法研究受到诸多学者的广泛关注, 并取得了丰硕成果, 相关学者在此基础上相继提出了区间模糊集^[2]、直觉模糊集^[3]、区间直觉模糊集^[4]、犹豫模糊语言术

收稿日期: 2022-07-25; 录用日期: 2022-12-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目(72161006); 教育部人文社科基金项目(21XJA630009); 广西哲学社会科学规划项目(21FGL037); 广西自然科学基金面上项目(2021JJA180078); 江西省主要学科学术和技术带头人项目(20194BCJ22001); 广西新文科研究与实践项目(XWK2022011).

责任编辑: 徐泽水.

[†]通讯作者. E-mail: zfm1214@163.com.

语集^[5]等一系列模糊集的拓展形式,以求更加全面系统地刻画客观事物及其属性特征.进一步,文献[6]提出概率语言术语集的概念,引入概率信息反映决策者的偏好程度.现阶段关于概率语言多属性群决策的研究,大多都是在假设决策者完全理性的基础上开展的相关研究工作^[7-8],事实上也应当充分考虑决策者存在的后悔规避行为等非理性因素,相关学者也开始探究决策者有限理性行为对决策结果的影响.文献[9]考虑后悔规避行为,提出一种基于后悔理论和证据理论的直觉模糊信息多属性决策方法;文献[10]将后悔理论融入到群决策过程中,提出一种基于后悔理论和区间灰数信息的群体偏离靶心度决策方法;文献[11]基于后悔理论,提出一种考虑约束条件的概率语言术语集双边匹配决策方法,使决策结果更接近真实的决策过程.因此,在考虑决策者不完全理性的前提下,如何更好地融入后悔理论对概率语言多属性问题进行群体决策是一个值得关注和探讨的研究课题.

在概率语言多属性群决策问题中,确定方案的优劣排序是决策者做出评价的重要依据.目前已有学者尝试将一些经典的决策方法,如TOPSIS^[12]、AHP^[13]、ORESTE^[14]等方法扩展到概率语言多属性环境中,并通过算例分析验证这些方法的有效性.文献[15]提出了离平均解距离(evaluation based on distance from average solution, EDAS)方法,将评价标准由优劣解思想转换为具有折中思想的平均解,不仅更能满足群体决策的实际要求,而且与现有的一些经典决策方法具有很好的结果一致性.相关学者在此基础上先后提出了直觉模糊EDAS法^[16]、区间模糊EDAS法^[17]、2-TYPE模糊EDAS法^[18]等一系列拓展形式.作为近年来提出的较新的决策方法,EDAS常用于解决属性值为数值型的决策问题,针对解决概率语言群决策问题的研究还相对较少.在此基础上,本文提出一种新的概率语言EDAS法,用以解决概率语言环境下的多属性群决策的方案排序问题,不仅能有效简化决策流程,还能有效降低极端值对决策结果带来的影响.

另一方面,群体决策者往往很难就某一问题的最终方案达成一致,这就需要研究决策群体判断的共识性,即共识度量.近年来相关学者也针对群体决策的共识模型展开研究,成果主要包括:基于个体决策意见偏差的共识测度模型^[19]、基于个体与群体决策意见偏差的共识测度模型^[20]、具有最小调整的共识测度模型^[21]、基于一致性水平的共识测度模型^[22]、具有反馈机制的共识模型^[23]等.需要指出的是,上述研

究大多是在默认决策者的属性集和方案集完全相同的基础上进行信息集结,事实上可能存在个人方案集或属性集与其他成员不完全相同的情况(如在选举班长决策中,同学A考虑从能力、态度等方面对候选者进行评价,同学B考虑从成绩、经验等方面进行综合评价),以往的共识规则并不能很好地解决这类问题^[19-23].基于上述不足,针对群体决策中各决策者可供选择的属性集或方案集不完全相同的情况,本文考虑共识决策过程,决策者不必就个人方案集或属性集达成共识,允许通过其个人属性集得到个人方案集,通过共识模型的度量和修正,得出最终的评价结果.

本文在考虑决策者不完全理性的前提下,考虑概率语言环境下的后悔理论决策方法用于融合各群体决策者给出的评价信息,将EDAS方法与概率语言信息处理相结合用于方案排序.针对评价信息为概率语言术语且属性权重未知的多属性群决策问题,给出了在考虑决策者后悔规避条件下基于EDAS和共识模型多属性后悔理论决策方法用于得出群体决策者的概率语言型方案评价结果.同时,为验证本文所提出方法的合理性和有效性,利用共享自行车设计方案选择的算例进行分析,并通过与其他方法进行比较分析说明本文方法的合理性.

1 基本理论

1.1 概率语言术语集

定义1^[6] 集合 $S = \{s_\alpha | \alpha = -\tau, \dots, -1, 0, 1, \dots, \tau\}$ 表示一个语言术语集,其中 s_α 表示语言术语,概率语言术语集可表示为

$$L(p) = \left\{ L^{(k)}(p^{(k)}) | L^{(k)} \in S, p^{(k)} \in [0, 1], \right. \\ \left. k = 1, 2, \dots, \#L(p), \sum_{k=1}^{\#L(p)} p^{(k)} \leq 1 \right\}. \quad (1)$$

其中: $L^{(k)}(p^{(k)})$ 表示概率为 $p^{(k)}$ 的语言术语 $L^{(k)}$, $\#L(p)$ 表示概率语言术语的个数.

定义2^[6] 设概率语言术语集

$$L(p) = \{L^{(k)}(p^{(k)}) | k = 1, 2, \dots, \#L(p)\},$$

则得分函数可表示为

$$E(L(p)) = s_{\bar{\alpha}},$$

其中

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{k=1}^{\#L(p)} r^{(k)} p^{(k)}}{\sum_{k=1}^{\#L(p)} p^{(k)}}. \quad (2)$$

设概率语言术语集 $L(p)$ 的偏离度函数为

$$\delta(L(p)) = \frac{\left\{ \sum_{k=1}^{\#L(p)} [p^{(k)}(r^{(k)} - \bar{\alpha})]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}{\sum_{k=1}^{\#L(p)} p^{(k)}}. \quad (3)$$

为进一步挖掘概率语言术语集的信息,本文在综合考虑“绝对信息”和“相对信息”的基础上,定义概率语言术语综合得分函数,通过概率语言术语的得分函数来反映“绝对信息”,通过概率语言术语的偏离度函数来反映“相对信息”.

定义3 集合 $S = \{s_\alpha | \alpha = -\tau, \dots, -1, 0, 1, \dots, \tau\}$ 表示一个语言术语集,有概率语言术语集 $L(p) = \{L^{(k)}(p^{(k)}) | k = 1, 2, \dots, \#L(p)\}$, 则概率语言术语综合得分函数为

$$F(L(p)) = \bar{\alpha} - \frac{\left\{ \sum_{k=1}^{\#L(p)} [p^{(k)}(r^{(k)} - S(L(p)))^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}{\text{var}(S) \sum_{k=1}^{\#L(p)} p^{(k)}}. \quad (4)$$

其中

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{k=1}^{\#L(p)} r^{(k)} p^{(k)}}{\sum_{k=1}^{\#L(p)} p^{(k)}},$$

$$\text{var}(S) = \frac{\sum_{k=-\tau}^{\tau} (k-0)^2}{2\tau+1} = \frac{\tau(\tau+1)}{3}.$$

1.2 后悔理论

后悔理论^[24-25]的基本思想是:决策者不仅关注所选方案,还会将当前方案与其他方案进行比较,若发现选择其他方案能够带来更好价值,则会感到后悔,否则会感到欣喜.因此,决策者通常会对当前决策可能产生的后悔或欣喜程度做出预判,并尽可能地避免选择产生后悔情绪的方案.最初,后悔理论的提出主要是为了解决两个方案间的选择问题,决策者的感知效用^[26]可表示为

$$U_{ab} = u_a + R(u_a - u_b). \quad (5)$$

其中: u_a 为决策者在无其他备选方案的状态下从方案A中获得的效用, $u_a - u_b$ 为决策者选择方案A而不选择方案B的损益值, $R(u_a - u_b)$ 为决策者选择方案A而不选择方案B产生的后悔-欣喜值,且后悔-欣喜函数 $R(\cdot)$ 满足 $R'(\cdot) > 0, R''(\cdot) < 0, R(0) = 0$.

定义4^[27] 设幂函数 $v(x) = x^\alpha (0 < \alpha < 1)$ 为个体属性值的效用函数, $R(\Delta v) = R(v(L_{ij}^{(k,t)})) - v(L_{hj}^{(k,t)})$ 表示第 k 个决策者第 t 轮时在第 j 个属性下选择方案 $A_i^{(k,t)}$ 而未选择方案 $A_h^{(k,t)}$ 时的后悔-欣喜值.定义后悔-欣喜函数为

$$R(\Delta v) = 1 - \exp(-\gamma(\Delta v)), \quad (6)$$

其中 $\gamma > 0$ 表示决策者的后悔规避系数,其与决策者的后悔规避程度成正比.

2 模型构建

在概率语言多属性群决策问题中,令 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 表示 m 名决策者集合, $X^{(k,t)} = \{x_1^{(k,t)}, x_2^{(k,t)}, \dots, x_n^{(k,t)}\}$ 表示决策者 e_k 在第 t 轮中可供选择的方案集, $A^{(k,t)} = \{a_1^{(k,t)}, a_2^{(k,t)}, \dots, a_l^{(k,t)}\}$ 表示决策者 e_k 在第 t 轮中可供选择的方案属性集.为方便起见,记决策者 e_k 在第 t 轮关于第 i 个方案第 j 个属性的概率语言评价矩阵为 $R = [L_{ij}^{(k,t)}(p)]_{n \times l}$.

2.1 属性权重的确定方法

基于最大化偏差法思想,本文给出一种概率语言多属性决策问题属性权重的确定方法.令 $d(y_{iz}^{(k,t)}, y_{jz}^{(k,t)})$ 为方案 $x_i^{(k,t)}$ 和 $x_j^{(k,t)}$ 关于属性 $a_z^{(k,t)}$ ($z = 1, 2, \dots, l$) 之间距离, $(w(a_1^{(k,t)}), w(a_2^{(k,t)}), \dots, w(a_l^{(k,t)}))^T$ 表示方案属性集 $A^{(k,t)}$ 的权重向量,当属性为 $a_z^{(k,t)}$ 时,建立概率语言术语属性权重的非线性规划模型

$$\begin{aligned} \max D^{(k,t)} &= \sum_{z=1}^l D_z^{(k,t)} = \sum_{z=1}^l \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{iz}^{(k,t)} = \\ &= \sum_{z=1}^l \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \{[d(y_{iz}^{(k,t)}, y_{jz}^{(k,t)})]^2 [w^{(k,t)}(a_z^{(k,t)})]\}. \\ \text{s.t.} &\begin{cases} w^{(k,t)}(a_z^{(k,t)}) \geq 0, z = 1, 2, \dots, l; \\ \sum_{z=1}^l [w^{(k,t)}(a_z^{(k,t)})]^2 = 1. \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

其中方案 $x_i^{(k,t)}$ 与其他方案的偏差距离可表示为

$$D_{iz}^{(k,t)} = \sum_{j=1, j \neq i}^n \{[d(y_{iz}^{(k,t)}, y_{jz}^{(k,t)})]^2 [w^{(k,t)}(a_z^{(k,t)})]\}.$$

求解模型(7),并对 $w^{(k,t)}$ 作归一化处理,得属性集 $A^{(k,t)}$ 的规范化权重向量为

$$w(a_z^{(k,t)}) = \frac{w^{(k,t)}(a_z^{(k,t)})}{\sum_{i=1}^l [w^{(k,t)}(a_i^{(k,t)})]}.$$

2.2 基于后悔理论和EDAS的多属性决策模型

利用EDAS算法测算方案与平均解之间的差距,能有效降低极端值对决策结果的影响,同时根据感知效用矩阵确定各方案最终评估得分,从而选出满意方

案. 本节构建了基于后悔理论和EDAS的概率语言多属性决策模型, 具体步骤如下:

step 1: 标准化个人评价矩阵. 根据决策者提供的概率语言评价价值, 得到评价矩阵 R .

step 2: 计算属性权重值. 根据式(7), 计算各备选方案属性的权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_l)^T$.

step 3: 确定各方案的综合感知效用值矩阵. 基于标准化后的概率语言评价矩阵, 由式(6)及文献[28]方法计算各方案的后悔-欣喜值, 建立决策者对各方案的综合感知效用矩阵

$$U = (u_{ij}^{(k,t)})_{n \times l} = \begin{bmatrix} u_{11}^{(k,t)} & \dots & u_{1l}^{(k,t)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1}^{(k,t)} & \dots & u_{nl}^{(k,t)} \end{bmatrix}.$$

step 4: 确定个人方案排序. 将EDAS拓展至概率语言多属性群决策领域, 步骤如下^[29]:

step 4.1: 确定各方案属性感知效用值的平均值 $AU, AU = [AU_j]_{n(k,t) \times \ln(k,t)}$.

step 4.2: 根据各方案属性值, 计算正向距离矩阵和反向距离矩阵

$$P = \frac{\max(0, (U_{ij} - AU_j))}{AU_j}, \quad (8)$$

$$N = \frac{\max(0, (AU_j - U_{ij}))}{AU_j}. \quad (9)$$

step 4.3: 计算方案 x_i 的正向加权距离和反向加权距离

$$SP_i = \sum_{j=1}^{n(k,t)} w_j P_{ij}, \quad (10)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^{n(k,t)} w_j N_{ij}. \quad (11)$$

step 4.4: 确定各方案的综合评价价值, 根据最终评价价值对各备选方案进行排序, 即

$$AS_i = \frac{1}{2}(SP_i + (1 - SN_i)). \quad (12)$$

step 4.5: 确定初始解决方案. 令 $Q(x_i^{(k,t)})$ 表示选择方案 $x_i^{(k,t)}$ 为最优方案的决策者的数量, 则取 $\max[Q(x_i^{(k,t)})]$ 对应的方案 $x_i^{(k,t)}$ 作为初始集体解决方案.

2.3 共识过程

2.3.1 共识测度

定义5 定义群决策者的共识测度为

$$\bar{Q} = \frac{Q(x_i^{(k,t)})}{m}. \quad (13)$$

其中: m 表示群体决策者数量, $\bar{Q} \in [1/m, 1]$. 根据过半数原则, 对初始解决方案 $x_i^{(k,t)}$ 中满足 $\bar{Q} \geq 1/2$ 的

方案进行排序, 取 $\max\{Q(x_i^{(k,t)}) | \bar{Q} \geq 1/2\}$ 所对应的方案 $x_i^{(k,t)}$ 作为最终方案, 记为 x^* .

2.3.2 反馈调整

本文本着尽可能少地调整决策者意见的原则, 希望通过调整个别决策者的某些评价意见或信息, 以达到群体共识的要求. 本文方法无需考虑不同决策者的评价集或属性集是否一致, 先分别计算各决策者方案评价价值, 分别得到不同决策者的最优初始解决方案, 对于这些方案的共识测度, 若初步解决方案未通过群体共识, 则需要反馈调整. 令 \bar{Q}^* 表示专家给出的共识性阈值, 当 $\bar{Q} < \bar{Q}^*$ 时, 一定存在某个决策者 e_s 对第 i 个方案对应第 i 个属性(用 (i, j) 表示)的评价信息, 使得 $\bar{Q}(i, j) < \bar{Q}^*$. 令 $R_{pq} = \{(p, q) | \bar{Q}_{pq} = \min_{(i,j)}(\bar{Q}_{ij})\}$, 对于 $\forall (p, q) \in R_{pq}, \bar{Q}_{pq}^{(s)} = \min\{\bar{Q}_{pq}\}$, 选取决策者 e_s 的决策矩阵 $R^{(s)}$ 中对应 (p, q) 位置上的元素进行调整.

定义6 概率语言评价矩阵 R 中的任意两个评价矩阵表示为 $R^{(k)} = (L_{ij}^{(k,t)})_{n \times l}, R^{(h)} = (L_{ij}^{(h,t)})_{n \times l}$. 为方便表示, 令 $t = (L_{ij}^{(k,t)}, L_{ij}^{(h,t)})$, 则对应 (i, j) 位置上, 第 k 个决策者与其他决策者之间的共识水平可表示为

$$CL_{ij}^{(k)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m CL(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [1 - d(t)]. \quad (14)$$

定义7^[29] 设 $S = \{s_\alpha | \alpha = -\tau, \dots, -1, 0, 1, \dots, \tau\}$ 表示一个概率语言术语集, $L_s^1, L_s^2, \dots, L_s^n$ 表示 S 中的 n 个概率语言术语, 令 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 表示 $L_s^j (j = 1, 2, \dots, n)$ 的权重向量, 定义概率语言加权平均(PLWA)算子为

$$PLWA(L_s^1, L_s^2, \dots, L_s^n) = \bigoplus_{j=1}^n \omega_j L_s^j = \bigcup_{b_1 \in L_s^1, b_2 \in L_s^2, \dots, b_n \in L_s^n} \{\bigoplus_{j=1}^n \omega_j b_j\}. \quad (15)$$

对决策者 e_s 的决策矩阵上对应的 (p, q) 位置元素进行反馈调整, 具体步骤如下:

step 1: 令 $h = 0, R_0^{(k)} = (L_{ij,0}^{(k)})_{n \times l}$.

step 2: 计算初始方案的群体共识水平. 若 $\bar{Q} \geq 1/2$, 则转至 step 4, 否则转至步骤 step 3.

step 3: 确定需要调整位置元素的决策者. 令 $CL_{pq}^{(s)} = \min_k \{CL_{ij}^{(k)}\}$, 则对决策者 e_s 的决策矩阵上对应 (p, q) 位置元素 $L_{pq,h}^{(s)}$ 进行反馈调整, 令

$$L_{ij,h+1}^{(s)} = \begin{cases} \text{round}(\lambda L_{ij,h}^{(s)} \oplus (1 - \lambda)L_{ij,h}^{(c)}), \\ \quad i = p, j = q, 0 < \lambda < 1; \\ L_{pq,h}^{(s)}, \text{ otherwise.} \end{cases} \quad (16)$$

其中: $L_{ij,h}^{(c)} = \text{PLWA}(L_s^1, L_s^2, \dots, L_s^t), \lambda \in (0, 1)$ 表示调整参数, 可以根据实际需要设定, $\text{round}(\lambda L_{ij,h}^{(s)} \oplus (1 - \lambda)L_{pq,h}^{(c)}) = \{\text{round}(\lambda b_{ij,h}^{(s)} \oplus (1 - \lambda)b_{ij,h}^{(c)}) | b_{ij,h}^{(s)} \in L_{ij,h}^{(s)}, b_{ij,h}^{(c)} \in L_{ij,h}^{(c)}\}$. 决策者 e_s 根据建议调整的评价信息 $L_{ij,h+1}^{(s)}$ 提供新的决策信息. 令 $R_{h+1}^{(k)} = R_h^{(k)}$, 当 $k \neq s, h = h + 1$ 时, 转 step 2, 计算新的群体共识水平.

step 4: 输出通过群体共识的最终决策方案.

3 算法步骤及过程

1) 选择过程.

选择过程的目的是根据个体决策者的不同偏好, 对个人评价方案进行初步筛选和排序, 以得到初始解决方案, 具体步骤如下:

step 1: 标准化概率语言决策矩阵.

step 2: 根据式(7)计算各方案评价指标的属性权重值.

step 3: 由式(6)计算决策者的后悔-欣喜值及感知效用值, 确定方案感知效用值矩阵.

step 4: 根据式(8)~(12)确定个人方案排序. 利用EDAS方法获得个人方案排序.

step 5: 确定初始解决方案.

2) 共识过程.

若初始解决方案通过共识度量, 则初始方案即为最终方案; 否则, 通过至少一轮的筛选和动态反馈调整, 直至得到通过共识模型的最佳方案.

step 1: 共识测度计算. 根据式(13)计算群体的共识水平.

step 2: 反馈过程. 根据设定的规则, 判断是否达到预定的共识水平.

step 3: 个人偏好调整. 根据式(15)和(16)提出调整建议, 对决策者个人信息进行修正, 改进决策者的共识水平.

step 4: 输出通过共识测度的最终方案.

4 算例分析

4.1 算例背景

为验证本文方法的有效性, 引用文献[14]中的算例及原始数据进行分析计算. 一家共享自行车公司希望从几个设计方案中选择一个最佳方案, 以便满足消费者的实际需要. 其中方案集 $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$, 分别由3组群体决策者 $G = \{G_1, G_2, G_3\}$ 根据 $\{l_1 = \text{很差}, l_2 = \text{差}, l_3 = \text{一般}, l_4 = \text{好}, l_5 = \text{很好}\}$ 给出各属性下方案的评价值, 属性集 $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ 表示舒适度 C_1 、方便度 C_2 、安全性 C_3 、

骑行速度 C_4 . 已知方案属性权重 $L^{(1)}(p) = \{l_3(0.25), l_4(0.5), l_5(0.25)\}$, $L^{(2)}(p) = \{l_4(0.4), l_5(0.6)\}$, $L^{(3)}(p) = \{l_3(0.25), l_4(0.75)\}$, $L^{(4)}(p) = \{l_3(0.5), l_4(0.5)\}$. 为简化计算, 将3组决策者用3位决策者替代表示, 权重为 $w = (1/3, 1/3, 1/3)^T$.

4.2 计算结果及分析

根据式(4)~(7)确定属性权重, 根据式(5)和(6)及文献[28]给出的语言型多属性评估矩阵感知效用计算方法, 确定各方案综合感知效用矩阵, 进一步根据式(8)~(12)确定各评价方案综合评价值 AS_i 及其排序情况, 计算结果如表1所示.

表1 决策者 $G_1 \sim G_3$ 的各方案综合评价值及排序情况

方案	G_1		G_2		G_3	
	综合评价值	排序	综合评价值	排序	综合评价值	排序
A_1	0.5247	2	0.4793	3	0.4793	3
A_2	0.4748	3	0.4476	4	0.5233	2
A_3	0.5456	1	0.5191	1	0.5436	1
A_4	0.4725	4	0.5152	2	0.4044	4
推荐方案	A_3		A_3		A_3	

由表1可知, G_1 认为方案的优劣排序为 $A_3 \succ A_1 \succ A_2 \succ A_4$; G_2 认为方案的优劣排序为 $A_3 \succ A_4 \succ A_1 \succ A_2$; G_3 认为方案的优劣排序为 $A_3 \succ A_2 \succ A_1 \succ A_4$. 因此, 初始最优方案为 A_3 . 进一步, 根据式(13)计算群体共识 \bar{Q} , 计算可得 $\bar{Q} = 1 > 1/2$. 通过群体共识模型, 初始最优方案 A_3 即为最终方案, 即 $x^* = A_3$.

4.3 对比分析

1) 考虑现实决策者不同后悔程度的分析.

为进一步说明现实决策中决策者的后悔规避行为对决策结果造成的影响, 本文针对决策者的不同后悔规避程度进行分析, 通过改变后悔规避系数探究其对决策结果造成的影响. 以决策者 G_1 的综合评价价值为例进行对比分析, 计算结果如表2所示.

由表2可知, 当决策者的后悔规避系数 γ 分别取 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1 时, 群决策者 G_1 对于方案的综合评价结果会受到一定的影响, 最优方案排序也存在一定的差异. 当 γ 取 0.05, 0.1 和 0.3 时, 方案排序为 $A_3 \succ A_1 \succ A_2 \succ A_4$; 当 γ 取 0.2, 0.5 和 1 时, 方案排序为 $A_3 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_2$, 这说明不仅决策者的后悔规避行为会对最终决策结果产生影响, 而且其后悔规避程度的大小也会对决策结果造成一定程度的影响. 因此, 在实际决策过程中, 考虑决策者的后悔规避行为具有一定的现实意义. 同时, 值得注意的是, 尽管

表2 决策者 G_1 在不同后悔规避系数下的结果对比

方案	后悔规避系数											
	$\gamma = 0.05$		$\gamma = 0.1$		$\gamma = 0.2$		$\gamma = 0.3$		$\gamma = 0.5$		$\gamma = 1$	
	综合评价值	排序	综合评价值	排序	综合评价值	排序	综合评价值	排序	综合评价值	排序	综合评价值	排序
A_1	0.5175	2	0.5190	2	0.5219	2	0.5247	2	0.5311	2	0.5478	2
A_2	0.4820	3	0.4810	3	0.4756	4	0.4748	3	0.4625	4	0.4381	4
A_3	0.5326	1	0.5351	1	0.5411	1	0.5456	1	0.5576	1	0.5869	1
A_4	0.4806	4	0.4789	4	0.4763	3	0.4725	4	0.4678	3	0.4530	3
推荐方案	A_3		A_3		A_3		A_3		A_3		A_3	

γ 的取值有所改变,但决策者 G_1 始终认为方案 A_3 是最优方案,这说明在考虑决策者后悔规避的情况下,方案 A_3 能够更好地满足消费者的实际需要.

2) 与其他方法的对比分析.

为进一步说明本文所提出方法的有效性和可行性,与文献[14]及文献[30]所提出方法进行对比研究,计算结果如表3所示.

表3 不同方法的方案综合评价及其排序情况

方案	文献[14]方法			文献[30]方法	
	平均偏好得分值	弱排序	强排序	综合效用值	排序
A_1	0.475	4	3	0.5004	2
A_2	0.464	2	2	0.4819	3
A_3	0.456	1	1	0.5361	1
A_4	0.471	3	3	0.4640	4
最优方案	A_3			A_3	

与文献[14]方法相比较发现,二者最优方案相同,而方案排序情况略有不同,这是由于:本文方法考虑了个体决策者的方案集或属性集可能存在差异的情况,先分别处理个体评价信息,再通过共识度量确定最终方案,在得出最终方案时无须再次计算方案综合评价及排序情况,一定程度上简化了计算过程.而文献[14]是在决策信息不一致的情况下,基于共识决策理论对差异较大的评价信息进行调整,达成共识后再对决策信息进行下一步处理,通过平均偏好得分值为各方案排序.与文献[30]方法相比较发现,二者最优方案相同,方案排序情况与部分决策者的评价结果相同,进一步分析得到:文献[30]是基于信息熵及交叉熵理论计算指标权重,在进行方案选择时未考虑到群决策的评价信息差异较大对决策结果造成的影响.而本文方法基于最大化偏差法思想确定属性权重,同时根据EDAS方法对方案进行排序,在一定程度上降低了极端值对决策结果的影响,进一步通

过构建共识模型来识别评价差异较大的决策者,并对相关信息进行反馈调整,以使最终结果能够更加科学合理地反映群体意见.

本文方法与文献[14,30]方法的最优方案是一致的,说明本文方法与现有的一些决策方法具有很好的稳定性和一致性.综合来看,本文方法不仅考虑了决策者的后悔规避等非理性因素的影响,同时还考虑了多属性群决策中个体决策者方案集或属性集不一致的情况,方法计算步骤相对简便,具备一定的可行性和有效性,更能满足实际应用的需要.

5 结论

在实际决策过程中,决策者的后悔规避行为会对决策结果造成一定程度的影响,因此在多属性群决策研究中,引入后悔理论具有一定的理论价值和现实意义.本文基于后悔理论,提出一种新的、基于EDAS和共识模型的动态概率语言多属性群决策方法.该方法考虑了决策者的后悔规避行为,采用最大化偏差法确定属性权重,为解决概率语言术语多属性群决策的实际应用问题提供了一个新的思路和方法.同时,本文考虑了决策者之间可能存在方案集和属性集不一致的情况,对个体决策者的最优方案进行比较选优,更符合实际决策的需要.与其他方法相比,本文具有如下特点:

1) 将后悔理论融入概率语言多属性群决策模型,考虑了决策者的后悔规避行为对决策结果造成的影响,从而使得最终结果更加符合实际决策的需要;

2) 构建了新的概率语言群体共识决策模型,该方法无需考虑不同决策者可供选择的评价集或属性集是否一致,通过计算各决策者方案评价,得到初始解决方案,再对这些个人初始解决方案进行共识测度,经过反馈调整得到最终决策方案,一定程度上简化了共识过程,为处理决策者的个人方案集或属性集存在差异的多属性群决策问题提供了一种新思路;

3) 将EDAS方法拓展至概率语言术语集领域,提出了一种新的、基于后悔理论和共识模型的概率语言多属性决策方法,为解决概率语言多属性群决策问题提供了一条新途径。

值得注意的是,本文仅探讨了基于EDAS和共识模型的动态概率语言多属性群决策问题,未来研究还可探讨关于区间型概率语言术语、混合型犹豫模糊数等不同语言形式的群体共识模型;此外,针对不同概率语言术语集的多属性群决策问题的共识测度模型,还可以进一步通过敏感度分析对其结果一致性程度进行分析。

参考文献(References)

- [1] Zadeh L A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning — II[J]. *Information Sciences*, 1975, 8(4): 301-357.
- [2] Turksen I B. Interval valued fuzzy sets based on normal forms[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1986, 20(2): 191-210.
- [3] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1986, 20(1): 87-96.
- [4] Atanassov K, Gargov G. Interval valued intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1989, 31(3): 343-349.
- [5] Rodriguez R M, Martinez L, Herrera F. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2012, 20(1): 109-119.
- [6] Pang Q, Wang H, Xu Z S. Probabilistic linguistic term sets in multi-attribute group decision making[J]. *Information Sciences*, 2016, 369: 128-143.
- [7] 张发明, 朱姝琪. 社会网络环境下基于群体一致性的概率语言多属性大群体决策方法[J]. *系统管理学报*, 2022, 31(4): 679-688.
(Zhang F M, Zhu S Q. Probabilistic language multi-attribute large group decision-making method based on group consistency in social network analysis[J]. *Journal of Systems & Management*, 2022, 31(4): 679-688.)
- [8] 任嵘嵘, 孟一鸣, 李晓奇, 等. 基于一致性度量的概率模糊语言多属性群决策方法[J]. *中国管理科学*, 2020, 28(4): 220-230.
(Ren R R, Meng Y M, Li X Q, et al. Consensus measure method for probabilistic linguistic information in multi-attribute group decision making[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(4): 220-230.)
- [9] 朱轮, 马庆功. 直觉模糊信息环境下考虑后悔规避的决策方法[J]. *计算机工程与应用*, 2017, 53(14): 123-129.
(Zhu L, Ma Q G. Decision-making method with regret theory under intuitionistic fuzzy information environment[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2017, 53(14): 123-129.)
- [10] 钱丽丽, 刘思峰, 邓桂丰. 考虑后悔规避的灰色群体偏离靶心度决策方法[J]. *中国管理科学*, 2020, 28(6): 193-200.
(Qian L L, Liu S F, Deng G F. Grey off-target deviation degree method for group decision-making with regret aversion[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(6): 193-200.)
- [11] Li P, Wang N N, Wei C P, et al. A two-sided matching method considering the lowest value of acceptability with regret theory for probabilistic linguistic term sets[J]. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 2021, 12(4): 917-930.
- [12] Lei F, Wei G W, Gao H, et al. TOPSIS method for developing supplier selection with probabilistic linguistic information[J]. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2020, 22(3): 749-759.
- [13] Xie W Y, Xu Z S, Ren Z L, et al. Probabilistic linguistic analytic hierarchy process and its application on the performance assessment of Xiongan new area[J]. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 2018, 17(6): 1693-1724.
- [14] 刘培德, 滕飞. 基于共识模型和ORESTE的扩展概率语言多属性群决策方法[J]. *中国管理科学*, 2021, 29(3): 199-209.
(Liu P D, Teng F. Multiple attribute group decision-making method based on consensus model and ORESTE method for extended probabilistic linguistic term set[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2021, 29(3): 199-209.)
- [15] Ghorabae M K, Zavadskas E K, Olfat L, et al. Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS)[J]. *Informatica*, 2015, 26(3): 435-451.
- [16] Kahraman C, Keshavarz Ghorabae M, Zavadskas E K, et al. Intuitionistic fuzzy EDAS method: An application to solid waste disposal site selection[J]. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 2017, 25(1): 1-12.
- [17] Karaan A, Kahraman C. A novel interval-valued neutrosophic EDAS method: Prioritization of the united nations national sustainable development goals[J]. *Soft Computing*, 2018, 22(15): 4891-4906.
- [18] Ghorabae M K, Amiri M, Zavadskas E K, et al. Multi-criteria group decision-making using an extended edas method with interval type-2 fuzzy sets[J]. *E+M Ekonomie a Management*, 2017, 20(1): 48-68.
- [19] Palomares I, Martínez L. A semisupervised multiagent system model to support consensus-reaching

- processes[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2014, 22(4): 762-777.
- [20] Xia M M, Xu Z S, Chen J. Algorithms for improving consistency or consensus of reciprocal[0,1]-valued preference relations[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2013, 216: 108-133.
- [21] Dong Y C, Chen X, Herrera F. Minimizing adjusted simple terms in the consensus reaching process with hesitant linguistic assessments in group decision making[J]. Information Sciences, 2015, 297: 95-117.
- [22] Zhang G Q, Dong Y C, Xu Y F. Consistency and consensus measures for linguistic preference relations based on distribution assessments[J]. Information Fusion, 2014, 17(1): 46-55.
- [23] Alonso S, Pérez I J, Cabrerizo F J, et al. A linguistic consensus model for Web 2.0 communities[J]. Applied Soft Computing, 2013, 13(1): 149-157.
- [24] Loomes G, Sugden R. Regret theory: An alternative theory of rational choice under uncertainty[J]. The Economic Journal, 1982, 92(368): 805-824.
- [25] Bell D E. Regret in decision making under uncertainty[J]. Operations Research, 1982, 30(5): 961-981.
- [26] Quiggin J. Regret theory with general choice sets[J]. Journal of Risk and Uncertainty, 1994, 8(2): 153-165.
- [27] Xia M M. A hesitant fuzzy linguistic multi-criteria decision-making approach based on regret theory[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2018, 20(7): 2135-2143.
- [28] 张发明, 王伟明. 基于后悔理论和DEMATEL的语言型多属性决策方法[J]. 中国管理科学, 2020, 28(6): 201-210.
(Zhang F M, Wang W M. A new linguistic multiple attribute decision making method based on regret theory and DEMATEL[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 28(6): 201-210.)
- [29] Wang J Q, Tian C Q, Zhang X, et al. Multi-criteria decision-making method based on simplified neutrosophic linguistic information with cloud model[J]. Symmetry, 2018, 10(6): 197.
- [30] 童玉珍, 王应明. 基于后悔理论及EDAS法的概率语言多属性群决策方法[J]. 计算机应用, 2020, 40(11): 3152-3158.
(Tong Y Z, Wang Y M. Multi-attribute group decision making method for probabilistic linguistic term set based on regret theory and distance from average solution method[J]. Journal of Computer Applications, 2020, 40(11): 3152-3158.)

作者简介

张发明(1980—),男,教授,博士生导师,从事综合评价、决策分析等研究,Email: zfm1214@163.com;

朱姝琪(1998—),女,硕士生,从事综合评价与多属性群决策的研究,Email: zhushuqi18@163.com.