

# 异构群体信息下基于后悔理论的前置仓选址模型研究

鞠大伟<sup>1</sup>, 刘巧英<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国家邮政科学研究规划院, 中国邮政集团有限公司邮政研究中心, 北京

<sup>2</sup>惠民县孙武镇中学, 山东 滨州

Email: [sxy880530@163.com](mailto:sxy880530@163.com)

收稿日期: 2021年1月6日; 录用日期: 2021年1月31日; 发布日期: 2021年2月7日

## 摘要

针对评价信息为异构数据的前置仓选址问题, 本文基于后悔理论提出了面向异构信息的多属性群决策方法。首先, 为了处理异构评价信息, 提出了将梯形区间二型模糊数、影像模糊数和多粒度区间语言术语统一转化为区间二元语义的方法; 然后, 考虑到决策者的心理行为, 利用后悔效用计算各前置仓备选地点与正负理想方案的距离; 并以此为基础, 利用TOPSIS法确定各前置仓备选地点与正理想方案的相对贴近度, 以实现备选地点的排序及择优。最后, 通过算例分析说明所提出方法的可行性。

## 关键词

异构信息, 前置仓选址, 后悔理论, 区间二元语义

# Location Selection Model of Front Distribution Center Based on Regret Theory under Heterogeneous Group Information

Dawei Ju<sup>1</sup>, Qiaoying Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postal Scientific Research and Planning Academy, Postal Research Center of China Post Group Co., Ltd., Beijing

<sup>2</sup>Sunwu Town Middle School of Huimin County, Binzhou Shandong

Email: [sxy880530@163.com](mailto:sxy880530@163.com)

Received: Jan. 6<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jan. 31<sup>st</sup>, 2021; published: Feb. 7<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

With respect to location selection problems of front distribution center in which the assessment values of attributes are denoted by heterogeneous data, based on regret theory, this paper proposes a multiple attribute group decision making method with heterogeneous information. Firstly, to solve heterogeneous evaluation information, a method for transforming trapezoidal interval type-2 fuzzy number, picture fuzzy number and multi-granularity interval linguistic term into interval 2-tuple linguistic is developed. Then, considering the DMs' psychological behavior, regret utility is used to calculate the distance between each feasible location of front distribution center and positive (negative) ideal solution, and then to determine the ranking of all feasible locations of front distribution center, the TOPSIS method is used to determine the relative coefficient degree of each location to positive ideal solution. Finally, a numerical example is provided to illustrate the feasibility of the proposed method.

## Keywords

Heterogeneous Information, Location Selection of Front Distribution Center, Regret Theory, Interval 2-Tuple Linguistic

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来,我国的电子商务产业迅速发展,市场规模逐年扩大,以京东、阿里为代表的电商公司正在不断改变自身的运营及服务方式,单纯的线上模式已难以满足客户的体验以及速度要求[1]。在此趋势下,各大电商积极向线上线下一体化的方向探索,尝试在需求地建立前置物流中心,以配合区域物流中心的调度策略,优化自身物流配送体系,降低物流成本并提高物流网络的运作效率。国内外学者围绕着选址问题进行了大量的研究,从简单的线性、单目标、确定解逐步转变为非线性、多目标、不确定解[2]。Darani等[3]等将层次分析法(AHP)与理想解相似度排序(TOPSIS)进行耦合,以有效地进行停车场的选址;邱晗光等[4]提出了两层嵌套 Logit 选择模型,运用多目标粒子群优化算法对城市配送节点的路径进行优化;Bravo等[5]构建了加权目标规划模型对海上风电场进行选址。前置仓作为2017年提出的新型且具备储存配送功能的末端仓库,目前针对其选址问题还没有形成一套完善的理论,因此如何对前置仓进行有效地选址是电商公司关注的热点问题。

前置仓选址需要不同领域或部门人员共同参与,考虑物流成本、服务水平等多个冲突目标,属于一个多属性群决策问题。在群决策过程中,由于不同的社会背景、知识结构以及客观事物的复杂性和不确定性,不同决策者可能倾向于采用自己偏好的信息表达形式给出其对备选地点的评价。同时,由于人类的知识、经验等相关能力的限制,决策者往往是有限理性的。在决策过程中,决策者不仅只关注当前所选方案的获得结果,还会将所选方案的结果与其它方案可能获得的结果进行比较,如果发现其它方案可能获得更好的结果时会感到后悔,反之,则感到欣喜。因此,决策者的后悔-欣喜心理都会不同程度地影响其实际决策行为,尽量规避选择使自己后悔的方案。针对前置仓选址问题中评价信息的异构性和决策者心理行为,本文基于后悔理论提出了面向异构信息的多属性群决策方法。首先,为了处理异构评

价信息, 提出了将梯形区间二型模糊数、影像模糊数和多粒度区间语言术语统一转化为区间二元语义的方法; 然后, 考虑到决策者的心理行为, 利用后悔效用计算各前置仓备选地点与正负理想方案的距离; 并以此为基础, 利用 TOPSIS 法确定各前置仓备选地点与正理想方案的相对贴程度, 以实现备选地点的排序及择优。最后, 通过算例分析说明所提出方法的可行性。

## 2. 理论基础

### 2.1. 模糊集

经典集合理论中, 元素的隶属度只能取 0 或 1, 是一种非此即彼的关系。基于对集合中元素隶属关系不确定性考量, Zadeh 于上世纪六十年代提出了以隶属函数为理论基础的模糊集概念[6], 元素隶属度不再是  $\{0, 1\}$ , 而是拓展到了区间  $[0, 1]$ 。隶属度的模糊化使模糊集具备了对不确定性概念的描述能力。

**定义 1 [6]:** 设  $U$  是一非空有限论域, 则其上的模糊集  $F$  可表示为

$$F = \{(x, F(x)) | x \in U\}, \quad (1)$$

其中,  $F: U \rightarrow [0, 1]$ ,  $F(x)$  表示模糊集的隶属函数, 取值范围为  $[0, 1]$ , 反映了论域  $U$  中的元素  $x$  隶属于集合  $F$  的程度。

与经典集合中的补、交、并等运算规则相应, Zadeh 提出了模糊集的运算规则。

**定义 2 [6]:** 设  $U$  是一非空有限论域,  $F_1$  和  $F_2$  为论域上的两个模糊集, 则有

- 1)  $F_1^c(x) = 1 - F_1(x)$ ,
- 2)  $(F_1 \cap F_2)(x) = F_1(x) \wedge F_2(x)$ ,
- 3)  $(F_1 \cup F_2)(x) = F_1(x) \vee F_2(x)$ 。

### 2.2. 梯形区间二型模糊数

Zadeh 教授于 1975 年提出了二型模糊集(Type-2 Fuzzy Set)的概念[7]。二型模糊集是对一型模糊集的拓展, 其核心思想是将一型模糊集的隶属度模糊化, 以此表示高阶不确定性。

**定义 3 [8]:** 设  $X$  为论域, 则定义在论域  $X$  上的二型模糊集  $A$  可表示为

$$A = \{(x, u), \mu_A(x, u) | \forall x \in X, u \in J_x, 0 \leq \mu_A(x, u) \leq 1\}, \quad (2)$$

其中,  $x$  是主要变量,  $J_x \in [0, 1]$  是  $x$  的主要隶属度函数,  $\mu$  是次要变量。式(2)可等价表示为

$$A = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} u_A(x, u) / (x, u) = \int_{x \in X} \left( \int_{u \in J_x} u_A(x, u) / (x, u) \right) / x, \quad (3)$$

其中,  $\int_{u \in J_x} u_A(x, u) / (x, u)$  是  $x$  的次隶属度函数, 积分符号  $\int$  表示遍历所有的  $x$  和  $u$ 。

当二型模糊集  $A$  中变量  $x$  的次隶属度恒为 1 时, 二型模糊集  $A$  成为区间二型模糊集  $\tilde{A}$ , 其定义如下。

**定义 4 [8]:** 设  $X$  为论域, 若论域上的二型模糊集  $A$  满足  $\mu_A(x, u) = 1$ , 则称  $\tilde{A}$  为区间二型模糊集, 其表达式如下所示:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1 / (x, u) = \int_{x \in X} \left( \int_{u \in J_x} 1 / (x, u) \right) / x, \quad (4)$$

其中,  $x$  是主要变量,  $J_x \in [0, 1]$  是  $x$  的主隶属度函数。

**定义 5 [8]:** 区间二型模糊集  $\tilde{A}$  的全体主隶属函数围成的区域称为不确定迹, 其表达式为

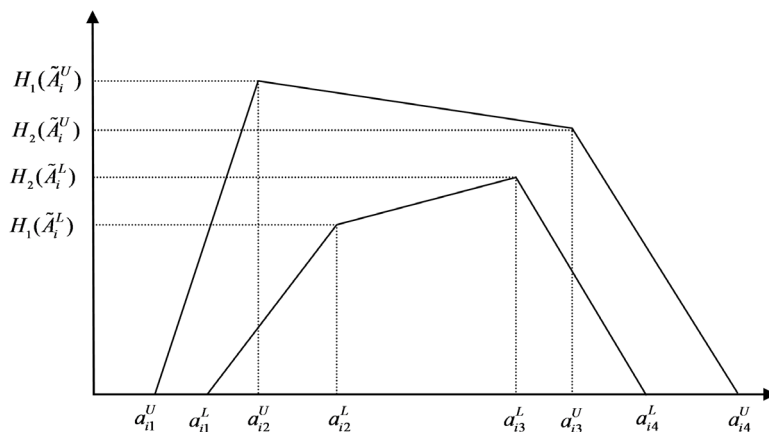
$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{x \in X} J_x = [\mu_A^L(x), \mu_A^R(x)]. \quad (5)$$

显然, 区间二型模糊集的不确定迹是由上隶属度函数和下隶属度函数所围成的区域。

**定义 6 [9]:** 当区间二型模糊集的上下隶属度函数为梯形模糊数时, 则称其为梯形区间二型模糊数, 表示为

$$T_i = (T_i^L, T_i^U) = \left\langle \left( a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_1(T_i^L), H_2(T_i^L) \right), \left( a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_1(T_i^U), H_2(T_i^U) \right) \right\rangle, \quad (6)$$

其中,  $T_i^L, T_i^U$  是一型模糊集,  $a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U$  表示上隶属度函数的参数值, 对应的隶属度值为  $0, H_1(T_i^U), H_2(T_i^U), 0$ ;  $a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L$  表示下隶属度函数的参数值, 对应的隶属度值分别为  $0, H_1(T_i^L), H_2(T_i^L), 0$ 。梯形区间二型模糊数的几何表示如图 1 所示。



**Figure 1.** Trapezoidal interval type-2 fuzzy number  
**图 1.** 梯形区间二型模糊数

**定义 7 [9] [10]:** 若  $\lambda > 0$ , 对于任意三个梯形区间二型模糊数

$$T_1 = (T_1^L, T_1^U) = \left\langle \left( a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(T_1^L), H_2(T_1^L) \right), \left( a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(T_1^U), H_2(T_1^U) \right) \right\rangle,$$

$$T_2 = (T_2^L, T_2^U) = \left\langle \left( a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(T_2^L), H_2(T_2^L) \right), \left( a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(T_2^U), H_2(T_2^U) \right) \right\rangle,$$

$$T = (T^L, T^U) = \left\langle \left( a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L; H_1(T^L), H_2(T^L) \right), \left( a_1^U, a_2^U, a_3^U, a_4^U; H_1(T^U), H_2(T^U) \right) \right\rangle,$$

其对应的运算规则如下:

- 1)  $T_1 \oplus T_2 = \left\langle \left( a_{11}^L + a_{21}^L, a_{12}^L + a_{22}^L, a_{13}^L + a_{23}^L, a_{14}^L + a_{24}^L; \min(H_1(T_1^L), H_1(T_2^L)), \min(H_2(T_1^L), H_2(T_2^L)) \right), \left( a_{11}^U + a_{21}^U, a_{12}^U + a_{22}^U, a_{13}^U + a_{23}^U, a_{14}^U + a_{24}^U; \min(H_1(T_1^U), H_1(T_2^U)), \min(H_2(T_1^U), H_2(T_2^U)) \right) \right\rangle,$
- 2)  $T_1 \otimes T_2 = \left\langle \left( a_{11}^L \times a_{21}^L, a_{12}^L \times a_{22}^L, a_{13}^L \times a_{23}^L, a_{14}^L \times a_{24}^L; \min(H_1(T_1^L), H_1(T_2^L)), \min(H_2(T_1^L), H_2(T_2^L)) \right), \left( a_{11}^U \times a_{21}^U, a_{12}^U \times a_{22}^U, a_{13}^U \times a_{23}^U, a_{14}^U \times a_{24}^U; \min(H_1(T_1^U), H_1(T_2^U)), \min(H_2(T_1^U), H_2(T_2^U)) \right) \right\rangle,$
- 3)  $\lambda T = \left\langle \left( \lambda a_1^L, \lambda a_2^L, \lambda a_3^L, \lambda a_4^L; H_1(T^L), H_2(T^L) \right), \left( \lambda a_1^U, \lambda a_2^U, \lambda a_3^U, \lambda a_4^U; H_1(T^U), H_2(T^U) \right) \right\rangle,$
- 4)  $T_1 / T_2 = \left\langle \left( a_{11}^L / a_{24}^L, a_{12}^L / a_{23}^L, a_{13}^L / a_{22}^L, a_{14}^L / a_{21}^L; \min(H_1(T_1^L), H_1(T_2^L)), \min(H_2(T_1^L), H_2(T_2^L)) \right), \left( a_{11}^U / a_{24}^U, a_{12}^U / a_{23}^U, a_{13}^U / a_{22}^U, a_{14}^U / a_{21}^U; \min(H_1(T_1^U), H_1(T_2^U)), \min(H_2(T_1^U), H_2(T_2^U)) \right) \right\rangle.$

**定义 8 [11]:**对于梯形区间二型模糊数

$T = \left\langle \left( a_1^U, a_2^U, a_3^U, a_4^U; H_1(T^U), H_2(T^U) \right), \left( a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L; H_1(T^L), H_2(T^L) \right) \right\rangle$ , 其期望值定义为:

$$E(T) = \frac{1}{2} \times \left( \frac{a_1^U + a_2^U + a_3^U + a_4^U}{4} + \frac{a_1^L + a_2^L + a_3^L + a_4^L}{4} \right) \times \frac{H_1(T^U) + H_2(T^U) + H_1(T^L) + H_2(T^L)}{4}. \quad (7)$$

### 2.3. 影像模糊集

影像模糊集(Picture Fuzzy Set)是由 Cuong 提出的新型模糊集[12]。影像模糊集是对经典模糊集的拓展, 它包含支持、反对、中立等三个方面的隶属度, 可以更全面地刻画不确定性信息。

**定义 9 [12]:** 设集合  $X$  为一给定的论域, 则其上的影像模糊集  $P$  可定义为:

$$P = \left\{ \langle \mu(x), \eta(x), \nu(x) \rangle \mid x \in X \right\}, \quad (8)$$

其中,  $\mu(x) \in [0, 1]$  是  $x \in P$  的支持隶属度,  $\eta(x) \in [0, 1]$  是  $x \in P$  的中立隶属度,  $\nu(x) \in [0, 1]$  是  $x \in P$  的反对隶属度,  $\mu(x), \eta(x), \nu(x)$  满足约束条件  $\mu(x) + \eta(x) + \nu(x) \leq 1$ 。同时, 对于  $x \in X$ ,  $\pi(x) = 1 - \mu(x) - \eta(x) - \nu(x)$  是  $x \in P$  的拒绝隶属度。当  $\eta(x) = 0$  时, 影像模糊集退化为直觉模糊集。为表示简便, 影像模糊数可表示为  $p = \langle \mu, \eta, \nu \rangle$ , 其中,  $\mu \in [0, 1]$ ,  $\eta \in [0, 1]$ ,  $\nu \in [0, 1]$  且  $\pi = 1 - \mu - \eta - \nu$ 。影像模糊数中的支持度, 反对度, 中立度和拒绝度分别表示了决策者在评价过程中支持、反对、中立和拒绝的不同态度。

**定义 10 [13]:** 对于影像模糊数  $p = \langle \mu, \eta, \nu \rangle$ , 其得分函数与准确函数可分别定义为:

$$S(p) = \mu - \eta - \nu, \quad (9)$$

$$V(p) = \mu + \eta + \nu. \quad (10)$$

**定义 11 [13]:** 设  $p_1$  和  $p_2$  为任意两个影像模糊数, 则依据影像模糊数的得分函数与精确函数可对影像模糊数  $p_1$  和  $p_2$  进行排序:

- 1) 若  $S(p_1) < S(p_2)$ , 则  $p_1 < p_2$ 。
- 2) 若  $S(p_1) > S(p_2)$ , 则  $p_1 > p_2$ 。
- 3) 若  $S(p_1) = S(p_2)$ , 则
  - a) 若  $H(p_1) < H(p_2)$ , 则  $p_1 < p_2$ ,
  - b) 若  $H(p_1) > H(p_2)$ , 则  $p_1 > p_2$ ,
  - c) 若  $H(p_1) = H(p_2)$ , 则  $p_1 = p_2$ 。

### 2.4. 区间二元语义

**定义 12 [7]:**  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  为语言术语集, 其中,  $s_i$  为语言术语,  $i = 0, 1, \dots, g$ ,  $g$  为偶数,  $g+1$  为语言术语集的粒度。通常, 语言术语集应满足以下性质:

- 1) 有序性: 若  $i > j$ , 则  $s_i > s_j$ 。
- 2) 逆算子:  $neg(s_i) = s_j$ , 则  $j = g - i$ 。
- 3) 极大化和极小化运算: 若  $s_i \geq s_j$ , 则  $\max\{s_i, s_j\} = s_i$ ,  $\min\{s_i, s_j\} = s_j$ 。

在决策过程中, 直接以对语言评价信息进行集成运算会造成评价信息的丢失, 从而导致决策结果失真。为解决这一问题, Herrera 和 Martínez 基于符号平移提出了二元语义的概念[14], 采用一个二元组  $(s_i, a_i)$  表示语言评价信息。

**定义 13 [14]:** 设  $S = \{S_0, S_1, \dots, S_g\}$  为语言术语集, 则  $\beta \in [0, g]$  对应的二元语义可由如下函数获得

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5],$$

$$\Delta(\beta) = \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha_i = \beta - i, & \alpha_i \in [-0.5, 0.5] \end{cases} \quad (11)$$

其中,  $s_i$  是语言术语集中的语言术语,  $\alpha_i$  是符号转移值, 满足  $\alpha_i \in [-0.5, 0.5)$ ,  $\text{round}$  为取整算子,  $g + 1$  为语言术语集的粒度。

**定义 14 [14]:** 设  $S = \{S_0, S_1, \dots, S_g\}$  为语言术语集,  $(s_i, \alpha_i)$  为二元语义,  $s_i \in S$ ,  $\alpha_i \in [-0.5, 0.5)$ , 则  $(s_i, \alpha_i)$  对应的实数可由如下函数求得:

$$\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [0, g],$$

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) = \alpha_i + i = \beta. \quad (12)$$

**定义 15 [14]:** 设  $S = \{S_0, S_1, \dots, S_g\}$  为语言术语集,  $[(s_i, \alpha_i), (s_j, \alpha_j)]$  可称为区间二元语义,  $s_i, s_j \in S$  为语言术语,  $\alpha_i, \alpha_j \in [-0.5, 0.5)$ , 其中  $i \leq j$  (当  $i = j$  时,  $\alpha_i \leq \alpha_j$ ), 则区间数  $[\beta_1, \beta_2]$  ( $\beta_1, \beta_2 \in [0, 1]$  且  $\beta_1 \leq \beta_2$ ) 可通过函数  $\Delta$  转换为相应的区间二元语义:

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5),$$

$$\Delta[\beta_1, \beta_2] = [(s_i, \alpha_i), (s_j, \alpha_j)], \text{ 其中 } \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta_1) \\ s_j, & j = \text{round}(\beta_2) \\ \alpha_i = \beta_1 - i, & \alpha_i \in [-0.5, 0.5) \\ \alpha_j = \beta_2 - j, & \alpha_j \in [-0.5, 0.5) \end{cases} \quad (13)$$

相反, 区间二元语义  $[(s_i, \alpha_i), (s_j, \alpha_j)]$  也可以通过函数  $\Delta^{-1}$  转换为相应的区间数  $[\beta_1, \beta_2]$ :

$$\Delta^{-1}([(s_i, \alpha_i), (s_j, \alpha_j)]) = [i + \alpha_i, j + \alpha_j]. \quad (14)$$

在实际决策过程中, 不同决策者往往会倾向于选择不同的语言评价粒度。因此, 在对语言评价信息进行集成前, 需要首先将不同粒度语言评价信息进行一致化, 即将不同粒度的语言评价信息转化为同一个语言术语集中的语言评价信息[15], 该语言术语集称为基础语言术语集。

## 2.5. 后悔理论

后悔理论是行为决策中得到广泛应用的研究成果[16] [17]。后悔理论认为决策者在决策过程中不仅只关注当前所选方案的获得结果, 还会将所选方案的结果与其它方案可能获得的结果进行比较, 如果发现其它方案可能获得更好的结果时会感到后悔, 反之, 则感到欣喜。因此, 决策者的后悔 - 欣喜心理都会不同程度地影响到决策者的实际决策行为, 决策者在决策过程中会尽量规避选择使自己后悔的方案。后悔理论的决策过程分为两个阶段: 前期编辑阶段和后期评价阶段。编辑阶段主要是感知效用函数的构建过程, 通过构建效用函数和后悔 - 欣喜函数, 将不确定属性信息转化为感知效用; 评价阶段是对综合感知效用的评估和选择, 基于效用函数和后悔 - 欣喜函数共同确定方案综合感知效用, 并依据综合感知效用值进行决策。因此, 后悔理论中, 决策者的感知效用函数由所选方案效用函数和后悔 - 欣喜函数两部分组成。设  $x_1$  和  $x_2$  分别表示方案  $A_1$  和  $A_2$  的预期结果, 则决策者对方案  $A_1$  的感知效用为

$$\mu_1 = v(x_1) + R(v(x_1) - v(x_2)), \quad (15)$$

其中,  $v(x_1)$  和  $v(x_2)$  分别表示方案  $A_1$  和  $A_2$  的效用函数,  $R(\Delta v)$  表示后悔 - 欣喜函数。因此, 在后悔理论中, 效用函数和后悔 - 欣喜函数是研究的关键。在后悔理论中, 效用函数反映了决策者对当前方案的



各项指标进行综合评价后所形成的主观结果感受效用。在实际决策中, 由于决策者往往是风险规避的, 效用函数  $v(x)$  通常是单调递增的凹函数。此外, 后悔-欣喜函数反映了决策者对当前方案所获的结果与其它方案获得的结果进行比较之后的心理感受程度, 通常是单调递增的凹函数。

### 3. 异构群体信息下基于后悔理论的前置仓选址模型

针对异构决策信息环境下的前置仓备选地点选择问题, 本节提出了基于后悔理论的前置仓选址模型。首先, 给出了将梯形区间二型模糊数、影像模糊数和区间语言术语统一转化为区间二元语义的方法; 然后, 采用后悔效用距离和 TOPSIS 法确定各前置仓备选地点与正理想方案的相对贴近度, 实现备选地点的排序及择优。

#### 3.1. 异构信息的转化

对于异构评价信息环境下的前置仓选址问题, 设  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  为  $m$  个前置仓备选地点集,  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  为评价指标集,  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  为指标集对应的权重向量, 并满足  $0 \leq w_j \leq 1$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , 且  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。决策者组成的集合记为  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_L\}$ 。由于不同的知识背景和信息偏好, 决策者可能对备选地点给出不同形式的评价信息, 这里考虑梯形区间二型模糊数、影像模糊数及多粒度区间语言术语三种评价信息表达形式。根据评价信息表达形式, 决策者集合可分为

$D = \{D_1, \dots, D_{l_1}, D_{l_1+1}, \dots, D_{l_2}, D_{l_2+1}, \dots, D_L\}$ , 其中,  $D_l (l = 1, 2, \dots, l_1)$  表示给出的评价信息为梯形区间二型模糊数的决策者,  $D_l (l = l_1 + 1, l_1 + 2, \dots, l_2)$  表示给出的评价信息为影像模糊数的决策者,

$D_l (l = l_2 + 1, l_2 + 2, \dots, L)$  表示给出的评价信息为多粒度区间语言术语的决策者。决策者  $D_l (l = 1, 2, \dots, L)$  给出备选地点  $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$  在指标  $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$  下的评价值记为  $e_{ij}^l$ , 其中  $e_{ij}^l (l = 1, 2, \dots, l_1)$  表示梯形区间二型模糊数,  $e_{ij}^l (l = l_1 + 1, l_1 + 2, \dots, l_2)$  表示影像模糊数,  $e_{ij}^l (l = l_2 + 1, l_2 + 2, \dots, L)$  表示多粒度区间语言术语。

为处理异构评价信息, 本文将梯形区间二型模糊数、影像模糊数和多粒度区间语言术语统一转化为区间二元语义  $\tilde{S}_{ij} = [(s_{ij}^L, \alpha_{ij}^L), (s_{ij}^U, \alpha_{ij}^U)]$ , 其中,  $s_{ij}^L, s_{ij}^U$  为基础语言术语集  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_6\}$  中的元素,  $\alpha_{ij}^L, \alpha_{ij}^U \in [-0.5, 0.5]$ 。本文采用基础语言术语集

$S = \{s_0 (\text{极低}), s_1 (\text{很低}), s_2 (\text{低}), s_3 (\text{一般}), s_4 (\text{高}), s_5 (\text{很高}), s_6 (\text{极高})\}$ , 其中各语言术语对应的三角模糊数隶属度函数如图 2 所示。

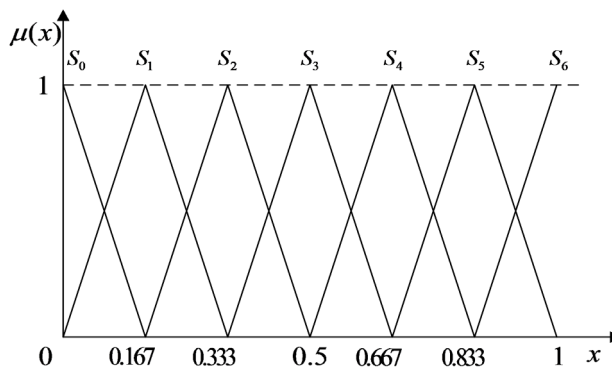


Figure 2. Membership function of linguistic term set S  
图 2. 语言术语集 S 的隶属函数

1) 梯形区间二型模糊数转化为区间二元语义

假设备选地点  $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$  在指标  $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$  上评价值为梯形区间二型模糊数

$e_{ij}^l = \left( (a_{1ij}^L, a_{2ij}^L, a_{3ij}^L, a_{4ij}^L, h_{1ij}^L, h_{2ij}^L), (a_{1ij}^U, a_{2ij}^U, a_{3ij}^U, a_{4ij}^U, h_{1ij}^U, h_{2ij}^U) \right) (l=1, 2, \dots, l_1)$ ,  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  为基础语言术语集。为了将梯形区间二型模糊数  $e_{ij}^l$  转化为区间二元语义  $\tilde{S}_{ij}^l$ , 首先通过映射  $\tau$  将梯形区间二型模糊数  $e_{ij}^l$  转化为区间二维语义集  $\tau(e_{ij}^l)$ :

$$\tau: [0, 1] \rightarrow F(S),$$

$$\tau(e_{ij}^l) = \left\{ \left[ (s_l^L, w_l^L), (s_k^U, w_k^U) \right] \mid k, l \in \{0, \dots, g\} \right\}, \tag{16}$$

$$w_k^U = \max_y \min \left\{ \mu_{e_{ij}^l}(y), \mu_{s_k}(y) \right\}, \tag{17}$$

$$w_l^L = \max_y \min \left\{ \mu_{e_{ij}^l}(y), \mu_{s_l}(y) \right\}, \tag{18}$$

其中,  $\mu_{e_{ij}^l}(y)$ ,  $\mu_{s_k}(y)$ ,  $\mu_{s_l}(y)$  为梯形区间二型模糊数  $e_{ij}^l$  和基础语言术语  $S$  的隶属函数,  $y \in [0, 1]$ 。

然后, 利用映射  $\chi$  和区间二元语义逆算子将梯形区间二型模糊数  $e_{ij}^l$  对应的区间二维语义集  $\tau(e_{ij}^l) = \left\{ \left[ (s_l^L, w_l^L), (s_k^U, w_k^U) \right] \right\}$  转化为区间二元语义  $\tilde{S}_{ij}^l$ :

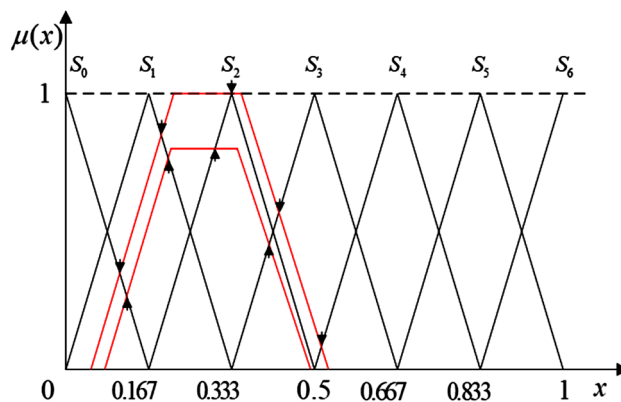
$$\chi: F(S) \rightarrow [0, g],$$

$$\begin{aligned} \chi(\tau(e_{ij}^l)) &= \chi \left\{ \left[ (s_l^L, w_l^L), (s_k^U, w_k^U) \right] \mid k, l \in \{0, \dots, g\} \right\} \\ &= \left[ \sum_{j=0}^g j^L w_j^L \left( \sum_{j=0}^g w_j^L \right)^{-1}, \sum_{j=0}^g j^U w_j^U \left( \sum_{j=0}^g w_j^U \right)^{-1} \right], \\ &= [\beta_1, \beta_2] \end{aligned} \tag{19}$$

$$\tilde{S}_{ij}^l = \Delta([\beta_1, \beta_2]) = [(s_i, \alpha_i), (s_j, \alpha_j)], \tag{20}$$

其中, 式(20)可以由定义 15 确定。

**例 1.** 若梯形区间二型模糊数  $e_{ij}^l = \langle (0.08, 0.25, 0.42, 0.60; 1, 1), (0.15, 0.25, 0.42, 0.55; 0.8, 0.8) \rangle$ , 基础语言术语集  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_6\}$  及其各语言术语对应的隶属度函数见图 2,  $e_{ij}^l$  与  $S$  之间的关系如图 3 所示。



**Figure 3.** Relationship between trapezoidal interval type-2 fuzzy number  $e_{ij}^l$  and linguistic term set  $S$

**图 3.** 梯形区间二型模糊数  $e_{ij}^l$  与语言术语集  $S$  之间的关系

首先, 利用式(16)~(18)将梯形区间二型模糊数  $e_{ij}^l$  转化为区间二维语义集:



$$\begin{aligned} \tau(e_{ij}^l) &= \tau(\langle (0.08, 0.25, 0.42, 0.60; 1, 1), (0.15, 0.25, 0.42, 0.55; 0.8, 0.8) \rangle) \\ &= \left\{ \left[ (s_0^L, 0.124), (s_0^U, 0.247) \right], \left[ (s_1^L, 0.621), (s_1^U, 0.715) \right], \right. \\ &\quad \left[ (s_2^L, 0.724), (s_2^U, 1) \right], \left[ (s_3^L, 0.621), (s_3^U, 0.715) \right], \\ &\quad \left. \left[ (s_4^L, 0.124), (s_4^U, 0.247) \right], \left[ (s_5^L, 0), (s_5^U, 0) \right], \left[ (s_6^L, 0), (s_6^U, 0) \right] \right\} \end{aligned}$$

然后, 利用式(19)和(20)将区间二维语义集  $\tau(e_{ij}^l)$  转化为区间二元语义:

$$\begin{aligned} \chi(\tau(e_{ij}^l)) &= \left[ \frac{0 \times 0.124 + 1 \times 0.621 + 2 \times 0.724 + 3 \times 0.621 + 4 \times 0.124 + 5 \times 0 + 6 \times 0}{0.124 + 0.621 + 0.724 + 0.621 + 0.124}, \right. \\ &\quad \left. \frac{0 \times 0.247 + 1 \times 0.715 + 2 \times 1 + 3 \times 0.715 + 4 \times 0.247 + 5 \times 0 + 6 \times 0}{0.247 + 0.715 + 1 + 0.715 + 0.247} \right] \\ &= [1.65, 1.73] \end{aligned}$$

由定义 15 可知,  $\tilde{S}_{ij}^l = \Delta([1.65, 1.73]) = [(s_2, -0.35), (s_2, -0.27)]$ , 则梯形区间二型模糊数  $e_{ij}^l$  对应的区间二元语义为  $[(s_2, -0.35), (s_2, -0.27)]$ 。

## 2) 影像模糊数转化为区间二元语义

假设备选地点  $A_i (i=1, 2, \dots, m)$  在指标  $C_j (j=1, 2, \dots, n)$  上的评价值为影像模糊数

$e_{ij}^l = \langle \mu_{ij}, \eta_{ij}, \nu_{ij} \rangle (l=l_1+1, l_1+2, \dots, l_2)$ ,  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  为基础语言术语集。影像模糊数反映了决策者支持、中立和反对等方面的态度。依照支持及不反对程度, 影像模糊数  $e_{ij}^l$  可以对应于  $[\mu_{ij}, 1 - \nu_{ij} - \eta_{ij}]$  和  $[\mu_{ij}, 1 - \nu_{ij}]$  两个区间, 根据这两个区间可以将其转化为相应的区间二元语义。为了将影像模糊数  $e_{ij}^l$  转化为区间二元语义  $\tilde{S}_{ij}^l$ , 首先通过映射  $\tau$  将影像模糊数  $e_{ij}^l$  转化为区间二维语义集  $\tau(e_{ij}^l)$ :

$$\tau: [0, 1] \rightarrow F(S),$$

$$\tau(e_{ij}^l) = \left\{ \left[ (s_l^L, w_l^L), (s_k^U, w_k^U) \right] \mid k, l \in \{0, \dots, g\} \right\}, \quad (21)$$

$$w_k^U = \max_y \min \{ \mu_T(y), \mu_{S_k}(y) \}, \quad (22)$$

$$w_l^L = \max_y \min \{ \mu_T(y), \mu_{S_l}(y) \}, \quad (23)$$

其中,  $\mu_{e_{ij}^l}(y)$ ,  $\mu_{S_k}(y)$ ,  $\mu_{S_l}(y)$  为影像模糊数  $e_{ij}^l$  和基础语言术语集  $S$  的隶属函数。

然后, 利用式(19)和(20)将影像模糊数  $e_{ij}^l$  对应的区间二维语义集  $\tau(e_{ij}^l) = \left\{ \left[ (s_l^L, w_l^L), (s_k^U, w_k^U) \right] \right\}$  转化为区间二元语义  $\tilde{S}_{ij}^l$ 。

**例 2.** 若影像模糊数  $e_{ij}^l = \langle 0.3, 0.2, 0.4 \rangle$ , 基础语言术语集  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_6\}$  及其各语言术语对应的隶属度函数见图 2,  $e_{ij}^l$  与  $S$  之间的关系如图 4 所示。

首先, 利用式(21)~(23)将影像模糊数  $e_{ij}^l$  转化为区间二维语义集:

$$\begin{aligned} \tau(e_{ij}^l) &= \tau(\langle 0.3, 0.2, 0.4 \rangle) \\ &= \left\{ \left[ (s_0^L, 0), (s_0^U, 0) \right], \left[ (s_1^L, 0.30), (s_1^U, 0.30) \right], \left[ (s_2^L, 1), (s_2^U, 1) \right], \left[ (s_3^L, 0.625), (s_3^U, 1) \right], \right. \\ &\quad \left. \left[ (s_4^L, 0), (s_4^U, 0.210) \right], \left[ (s_5^L, 0), (s_5^U, 0) \right], \left[ (s_6^L, 0), (s_6^U, 0) \right] \right\} \end{aligned}$$

然后, 利用式(19)和(20)将区间二维语义集  $\tau(e_{ij}^l)$  转化为区间二元语义:

$$\begin{aligned} \chi(\tau(e_{ij}^l)) &= \left[ \frac{0 \times 0 + 1 \times 0.30 + 2 \times 1 + 3 \times 0.625 + 4 \times 0 + 5 \times 0 + 6 \times 0}{0.30 + 1 + 0.625}, \right. \\ &\quad \left. \frac{0 \times 0 + 1 \times 0.30 + 2 \times 1 + 3 \times 1 + 4 \times 0.210 + 5 \times 0 + 6 \times 0}{0.30 + 1 + 1 + 0.210} \right] \\ &= [2.17, 2.45] \end{aligned}$$

由定义 15 可知,  $\tilde{S}_{ij}^l = \Delta([2.17, 2.45]) = [(s_2, 0.17), (s_2, 0.45)]$ , 则影像模糊数  $e_{ij}^l$  对应的区间二元语义为  $[(s_2, 0.17), (s_2, 0.45)]$ 。

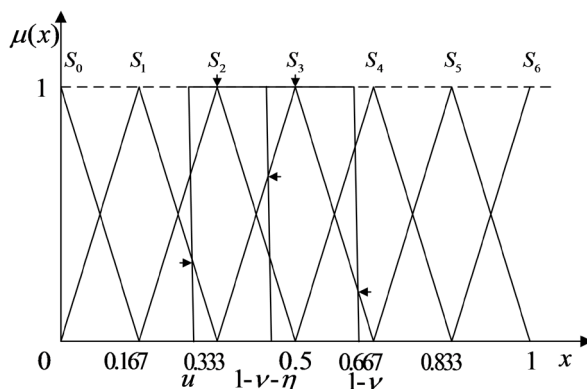


Figure 4. Relationship between picture fuzzy number  $e_{ij}^l$  and linguistic term set  $S$

图 4. 影像模糊数  $e_{ij}^l$  与语言术语集  $S$  之间的关系

### 3) 多粒度区间语言术语转化为区间二元语义

假设备选地点  $A_i (i=1, 2, \dots, m)$  在指标  $C_j (j=1, 2, \dots, n)$  上的评价值为区间语言术语  $e_{ij}^l = [s_{\beta}^{ll}, s_{\beta}^{ul}] (l=l_2+1, l_2+2, \dots, L)$ 。当区间语言术语  $e_{ij}^l$  所属的语言术语集与基础语言术语集  $S$  的粒度相同时, 可直接根据定义 14 进行转换。当两者的粒度不同时, 可以利用下面方法将不同语言粒度的语言评价信息转化为相同粒度。假设  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  是给定的基础语言术语集, 其粒度为  $g+1$ ,  $S' = \{s'_0, s'_1, \dots, s'_k\}$  是区间语言术语  $e_{ij}^l$  所属的语言术语集, 其粒度为  $k+1$ , 则通过映射  $TF$  可以将区间语言术语  $e_{ij}^l$  转为基于粒度为  $g+1$  的区间语言术语:

$$S'_{[0,k]} \rightarrow S_{[0,g]}$$

$$\begin{aligned} TF([s_{\beta}^{ll}, s_{\beta}^{ul}]) &= \left( I^{-1} \left[ \frac{I(s_{\beta}^{ll})g}{k} \right], I^{-1} \left[ \frac{I(s_{\beta}^{ul})g}{k} \right] \right), \\ &= \left( I^{-1} \left[ \frac{\beta g}{k} \right], I^{-1} \left[ \frac{\beta g}{k} \right] \right) = [s_{\alpha}^{ll}, s_{\alpha}^{ul}] \end{aligned} \tag{24}$$

$$\tilde{S}_{ij}^l = \Delta([s_{\alpha}^{ll}, s_{\alpha}^{ul}]) = [(s_{\alpha}^{ll}, 0), (s_{\alpha}^{ul}, 0)], \tag{25}$$

其中,  $I(\cdot)$  和  $I^{-1}(\cdot)$  是语言术语与语言术语下标值的转化与逆向转化函数。

### 3.2. 区间二元语义后悔效用的确定

在决策问题中, 决策者会将所选方案的结果与其它备选方案的结果进行比较, 若选择其它方案会带来更好的结果, 则决策者会感到后悔, 反之则感到欣喜。效用函数是衡量各个方案结果的常见度量, 常

为非减实值函数, 即较大的评价值会得到较大的效用值。本文采用 HARA 效用函数[18]定义区间二元语义信息的效用值, 并以此对各个方案进行选择。

**定义 16:** 若  $\tilde{S} = \left[ (s^L, \alpha^L), (s^U, \alpha^U) \right]$  为一个区间二元语义, 则其 HARA 效用值可定义为

$$U(\tilde{S}) = \frac{1-\gamma}{2\beta\gamma} \left( \left( \frac{\beta}{1-\gamma} \Delta^{-1}(s^L, \alpha^L) + \rho \right)^\gamma + \left( \frac{\beta}{1-\gamma} \Delta^{-1}(s^U, \alpha^U) + \rho \right)^\gamma \right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (26)$$

其中,  $\Delta^{-1}(s^L, \alpha^L)$ ,  $\Delta^{-1}(s^U, \alpha^U)$  是二元语义对应的实数值, 可通过定义 15 确定;  $\beta > 0$ ,  $\rho > 0$ ,  $\gamma \in (-\infty, 0) \cup (0, 1)$  为 HARA 效用函数的参数值[18]。

在区间二元语义效用值基础上, 为确定区间二元语义的后悔效用, 首先要构造后悔 - 欣喜函数  $R(\Delta v)$ 。由于决策者对于后悔和欣喜都是风险规避的, 函数  $R(\Delta v)$  是单调递增的凹函数, 根据文献[19]中的后悔 - 欣喜函数, 区间二元语义的后悔效用定义如下。

**定义 17:** 对于任意两个区间二元语义  $\tilde{S} = \left[ (s^L, \alpha^L), (s^U, \alpha^U) \right]$  和  $\tilde{S}_0 = \left[ (s_0^L, \alpha_0^L), (s_0^U, \alpha_0^U) \right]$ , 则  $\tilde{S}$  相对于  $\tilde{S}_0$  的区间二元语义后悔效用可定义为:

$$H(\tilde{S}, \tilde{S}_0) = U(\tilde{S}) + \left( 1 - \exp\left(-\delta \Delta(U(\tilde{S}), U(\tilde{S}_0))\right) \right), \quad (27)$$

其中,  $U(\tilde{S})$  为区间二元语义的 HARA 效用值,  $\Delta(U(\tilde{S}), U(\tilde{S}_0)) = U(\tilde{S}) - U(\tilde{S}_0)$  为两个区间二元语义的效用值偏差,  $1 - \exp\left(-\delta \Delta(U(\tilde{S}), U(\tilde{S}_0))\right)$  为决策者的后悔规避函数,  $\delta > 0$  为后悔规避系数, 且  $\delta$  越大, 决策者的后悔规避程度越大[16] [20]。

基于后悔效用, 两个区间二元语义之间的后悔效用距离定义如下。

**定义 18:** 对于任意两个区间二元语义  $\tilde{S}_1 = \left[ (s_1^L, \alpha_1^L), (s_1^U, \alpha_1^U) \right]$  和  $\tilde{S}_2 = \left[ (s_2^L, \alpha_2^L), (s_2^U, \alpha_2^U) \right]$ , 则它们之间的后悔效用距离为

$$d(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2) = \left| H(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2) - H(\tilde{S}_2, \tilde{S}_1) \right|, \quad (28)$$

其中,  $H(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2)$ ,  $H(\tilde{S}_2, \tilde{S}_1)$  分别为  $\tilde{S}_1$  相对于  $\tilde{S}_2$  和  $\tilde{S}_2$  相对于  $\tilde{S}_1$  的后悔感知效用, 可利用式(27)求得。当两者的后悔规避系数  $\delta_1$  和  $\delta_2$  相同时,  $H(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2) - H(\tilde{S}_2, \tilde{S}_1)$  为两个区间二元语义  $\tilde{S}_1$  和  $\tilde{S}_2$  的 HARA 效用差值。

### 3.3. 异构群体信息下基于后悔理论的前置仓备选地点选择

针对梯形区间二型模糊数、影像模糊数、多粒度区间语言术语等形式的评价信息, 基于后悔理论的前置仓备选地点选择方法的步骤如下:

**步骤 1.** 构建异构决策矩阵。假设各个决策者以梯形区间二型模糊数、影像模糊数和区间语言术语给出评价信息, 构建异构决策矩阵  $E^l = (e_{ij}^l)_{m \times n}$  ( $l = 1, 2, \dots, L$ )。

**步骤 2.** 将异构决策矩阵转化为区间二元语义决策矩阵。利用 3.1 小节的异构信息转化方法将各个决策者给出的异构决策矩阵  $E^l = (e_{ij}^l)_{m \times n}$  统一转化为区间二元语义决策矩阵  $\tilde{S}^l = (\tilde{s}_{ij}^l)_{m \times n}$  ( $l = 1, 2, \dots, L$ ), 其中  $\tilde{s}_{ij}^l = \left[ (s_{ij}^{lL}, \alpha_{ij}^{lL}), (s_{ij}^{lU}, \alpha_{ij}^{lU}) \right]$  为区间二元语义。

**步骤 3.** 确定群体区间二元语义决策矩阵。利用式(29)的区间二元语义加权集成算子, 将区间二元语义决策矩阵  $\tilde{S}^l = (\tilde{s}_{ij}^l)_{m \times n}$  ( $l = 1, 2, \dots, L$ ) 集结为群体区间二元语义决策矩阵  $\tilde{S} = (\tilde{s}_{ij})_{m \times n}$ 。

$$\tilde{s}_{ij} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \tilde{s}_{ij}^l = \Delta \left[ \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \Delta^{-1}(s_{ij}^{lL}, \alpha_{ij}^{lL}), \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \Delta^{-1}(s_{ij}^{lU}, \alpha_{ij}^{lU}) \right], \quad (29)$$

其中,  $L$  为决策者的数量。

**步骤 4.** 根据式(30)和(31)确定群体区间二元语义决策矩阵  $\tilde{S} = (\tilde{S}_{ij})_{m \times n}$  的正理想方案  $\tilde{S}^+$  和负理想方案  $\tilde{S}^-$ 。

$$\tilde{S}^+ = (\tilde{S}_1^+, \tilde{S}_2^+, \dots, \tilde{S}_n^+) = \left\{ \max_{1 \leq i \leq m} \{ \tilde{S}_{ij} \} \mid j = 1, 2, \dots, n \right\}, \quad (30)$$

$$\tilde{S}^- = (\tilde{S}_1^-, \tilde{S}_2^-, \dots, \tilde{S}_n^-) = \left\{ \min_{1 \leq i \leq m} \{ \tilde{S}_{ij} \} \mid j = 1, 2, \dots, n \right\}, \quad (31)$$

其中,  $\tilde{S}_j^+ = [(s_j^{L+}, \alpha_j^{L+}), (s_j^{U+}, \alpha_j^{U+})]$ ,  $\tilde{S}_j^- = [(s_j^{L-}, \alpha_j^{L-}), (s_j^{U-}, \alpha_j^{U-})]$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ 。

**步骤 5.** 利用式(28)分别计算在指标  $C_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 下各备选地点  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 相对于正理想方案  $\tilde{S}^+$  和负理想方案  $\tilde{S}^-$  的后悔效用距离, 构建后悔效用距离矩阵  $D^+ = (d_{ij}^+)_{m \times n}$  和  $D^- = (d_{ij}^-)_{m \times n}$ 。

**步骤 6.** 利用式(32)和(33)分别对各备选地点  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 在所有指标下相对于正、负理想方案的后悔效用距离进行集结。

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j d_{ij}^+, i = 1, 2, \dots, m, \quad (32)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n w_j d_{ij}^-, i = 1, 2, \dots, m, \quad (33)$$

其中,  $w_j$  为指标  $C_j$  的权重, 并满足  $w_j \in [0, 1]$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , 且  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

**步骤 7.** 利用式(34)计算各备选地点  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 相对于正理想方案的相对贴近系数。

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (34)$$

**步骤 8.** 按照相对贴近系数  $R_i$  由大到小的顺序对所有备选地点  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 进行排序, 从而选择出最佳的前置仓备选地点。

## 4. 算例分析

为了及时有效地将生鲜产品配送到顾客手中, 提高物流服务水平, 某电商公司拟在某顾客密集区域建立一个前置仓。管理部门邀请 10 位决策者  $D_l$  ( $l = 1, 2, \dots, 10$ ) 采用服务水平( $C_1$ )、周边交通情况( $C_2$ )、政策优惠( $C_3$ )3 个评价指标对 4 个备选地点  $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$  进行评价,  $w = (0.25, 0.35, 0.40)^T$  为指标  $C_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) 的权重向量。决策者  $D_l$  ( $l = 1, 2, \dots, 10$ ) 给出备选地点  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) 在指标  $C_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) 上的评价值为  $e_{ij}^l$  ( $l = 1, 2, \dots, 10, i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, 3$ ), 其中决策者  $D_l$  ( $l = 1, 2, 3, 4$ ) 给出的评价值为梯形区间二型模糊数、决策者  $D_l$  ( $l = 5, 6, 7, 8$ ) 给出的评价值为影像模糊数, 决策者  $D_9$  和  $D_{10}$  分别使用 7 粒度语言术语集和 5 粒度语言术语集给出区间语言术语评价信息。本文选择 7 粒度语言术语集作为基础语言术语集(见图 2)。下面采用上面给出的异构群体信息下基于后悔理论的前置仓选址模型对备选地点进行选择。

**步骤 1.** 各个决策者分别依据自身偏好的信息表达形式给出其评价信息, 构成异构决策矩阵  $E^l = (e_{ij}^l)_{4 \times 3}$  ( $l = 1, 2, \dots, 10$ )。以备选地点  $A_1$  在不同指标下的异构评价信息为例, 各决策者给出的评价信息如表 1~3 所示。

**Table 1.** Trapezoidal interval type-2 fuzzy evaluations of feasible location  $A_1$  provided by decision maker  $D_l (l = 1, 2, 3, 4)$

**表 1.** 决策者  $D_l (l = 1, 2, 3, 4)$  给出的备选地点  $A_1$  梯形区间二型模糊评价信息

$A_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$D_1$	$\langle\langle(0.7, 0.9, 0.95, 1; 1, 1), (0.8, 0.85, 0.9, 0.95; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$	$\langle\langle(0.15, 0.3, 0.35, 0.5; 1, 1), (0.2, 0.25, 0.3, 0.4; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$	$\langle\langle(0.15, 0.3, 0.35, 0.5; 1, 1), (0.2, 0.25, 0.3, 0.4; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$
$D_2$	$\langle\langle(0.3, 0.5, 0.55, 0.7; 1, 1), (0.4, 0.45, 0.50, 0.6; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$	$\langle\langle(0.7, 0.9, 0.95, 1; 1, 1), (0.8, 0.85, 0.9, 0.95; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$	$\langle\langle(0.15, 0.3, 0.35, 0.5; 1, 1), (0.2, 0.25, 0.3, 0.4; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$
$D_3$	$\langle\langle(0.7, 0.9, 0.95, 1; 1, 1), (0.8, 0.85, 0.9, 0.95; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$	$\langle\langle(0.3, 0.5, 0.55, 0.7; 1, 1), (0.4, 0.45, 0.50, 0.6; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$	$\langle\langle(0.3, 0.5, 0.55, 0.7; 1, 1), (0.4, 0.45, 0.5, 0.6; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$
$D_4$	$\langle\langle(0.3, 0.5, 0.55, 0.7; 1, 1), (0.4, 0.45, 0.50, 0.6; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$	$\langle\langle(0, 0.1, 0.15, 0.3; 1, 1), (0.05, 0.1, 0.1, 0.2; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$	$\langle\langle(0.7, 0.9, 0.95, 1; 1, 1), (0.8, 0.85, 0.9, 0.95; 0.95, 0.95)\rangle\rangle$

**Table 2.** Picture fuzzy evaluations of feasible location  $A_1$  provided by decision maker  $D_l (l = 5, 6, 7, 8)$

**表 2.** 决策者  $D_l (l = 5, 6, 7, 8)$  给出的备选地点  $A_1$  影像模糊评价信息

$A_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$D_5$	$\langle 0.4, 0.2, 0.3 \rangle$	$\langle 0.2, 0.3, 0.4 \rangle$	$\langle 0.4, 0.2, 0.3 \rangle$
$D_6$	$\langle 0.3, 0.2, 0.4 \rangle$	$\langle 0.3, 0.4, 0.2 \rangle$	$\langle 0.3, 0.2, 0.4 \rangle$
$D_7$	$\langle 0.3, 0.2, 0.4 \rangle$	$\langle 0.3, 0.4, 0.2 \rangle$	$\langle 0.3, 0.2, 0.4 \rangle$
$D_8$	$\langle 0.2, 0.3, 0.4 \rangle$	$\langle 0.2, 0.3, 0.4 \rangle$	$\langle 0.4, 0.2, 0.3 \rangle$

**Table 3.** Interval-valued linguistic term evaluations of feasible location  $A_1$  provided by decision maker  $D_l (l = 9, 10)$

**表 3.** 决策者  $D_l (l = 9, 10)$  给出的备选地点  $A_1$  区间语言术语评价信息

$A_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$D_9$	$[s_1, s_2]$	$[s_2, s_3]$	$[s_1, s_3]$
$D_{10}$	$[s_2, s_3]$	$[s_1, s_2]$	$[s_2, s_4]$

**步骤 2.** 利用 3.1 小节的异构信息转化方法将各个决策者给出的异构决策矩阵  $E^l = (e_{ij}^l)_{4 \times 3}$  转化为区间二元语义决策矩阵  $\tilde{S}^l = (\tilde{s}_{ij}^l)_{4 \times 3} (l = 1, 2, \dots, 10)$ 。备选地点  $A_1$  的区间二元语义评价信息如表 4~6 所示。

**Table 4.** Interval 2-tuple linguistic transformed from trapezoidal interval type-2 fuzzy numbers

**表 4.** 梯形区间二型模糊数转化后的区间二元语义

$A_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$D_1$	$[(s_5, 0.05), (s_5, 0.12)]$	$[(s_2, -0.21), (s_2, -0.07)]$	$[(s_2, -0.21), (s_2, -0.07)]$
$D_2$	$[(s_3, -0.05), (s_3, 0.04)]$	$[(s_3, 0.05), (s_3, 0.12)]$	$[(s_2, -0.21), (s_2, -0.07)]$
$D_3$	$[(s_5, 0.05), (s_5, 0.12)]$	$[(s_3, -0.05), (s_3, 0.04)]$	$[(s_3, -0.05), (s_3, 0.04)]$
$D_4$	$[(s_3, -0.05), (s_3, 0.04)]$	$[(s_1, -0.30), (s_1, -0.10)]$	$[(s_5, 0.05), (s_5, 0.12)]$

**Table 5.** Interval 2-tuple linguistic transformed from picture fuzzy numbers  
**表 5.** 影像模糊数转化后的区间二元语义

$A_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$D_5$	$[(s_3, -0.38), (s_4, -0.41)]$	$[(s_2, -0.50), (s_2, 0.41)]$	$[(s_3, -0.38), (s_4, -0.41)]$
$D_6$	$[(s_2, 0.22), (s_3, -0.28)]$	$[(s_2, 0.22), (s_3, -0.28)]$	$[(s_2, 0.22), (s_3, 0.30)]$
$D_7$	$[(s_2, 0.22), (s_3, -0.28)]$	$[(s_2, 0.22), (s_3, 0.30)]$	$[(s_2, 0.22), (s_3, -0.28)]$
$D_8$	$[(s_3, -0.05), (s_2, 0.41)]$	$[(s_2, -0.50), (s_2, 0.41)]$	$[(s_3, -0.38), (s_4, -0.41)]$

**Table 6.** Interval 2-tuple linguistic transformed from interval linguistic terms  
**表 6.** 区间语言术语转化后的区间二元语义

$A_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$D_9$	$[(s_1, 0), (s_2, 0)]$	$[(s_2, 0), (s_3, 0)]$	$[(s_1, 0), (s_3, 0)]$
$D_{10}$	$[(s_3, 0), (s_{4.5}, 0)]$	$[(s_{1.5}, 0), (s_3, 0)]$	$[(s_3, 0), (s_6, 0)]$

**步骤 3.** 利用式(29)将各决策者给出区间二元语义决策矩阵  $\tilde{S}^l = (\tilde{S}_{ij}^l)_{4 \times 3}$  ( $l = 1, 2, \dots, 10$ ) 集结为群体区间二元语义决策矩阵  $\tilde{S} = (\tilde{S}_{ij})_{4 \times 3}$ , 如表 7 所示。

**Table 7.** Group interval 2-tuple linguistic decision matrix  
**表 7.** 群体区间二元语义决策矩阵

	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$A_1$	$[(s_3, -0.14), (s_3, 0.43)]$	$[(s_2, 0.14), (s_3, -0.22)]$	$[(s_3, -0.47), (s_3, 0.42)]$
$A_2$	$[(s_2, 0.12), (s_3, -0.15)]$	$[(s_2, 0.20), (s_3, -0.15)]$	$[(s_3, 0.15), (s_3, 0.27)]$
$A_3$	$[(s_3, 0.15), (s_3, 0.20)]$	$[(s_2, 0.12), (s_3, -0.47)]$	$[(s_2, 0.45), (s_3, -0.12)]$
$A_4$	$[(s_3, 0.12), (s_3, 0.42)]$	$[(s_2, 0.15), (s_3, -0.20)]$	$[(s_3, 0.12), (s_3, 0.15)]$

**步骤 4.** 根据式(30)和(31)确定群体区间二元语义决策矩阵  $\tilde{S} = (\tilde{S}_{ij})_{4 \times 3}$  的正理想方案  $\tilde{S}^+$  和负理想方案  $\tilde{S}^-$ , 如下所示:

$$\tilde{S}^+ = \{[(s_3, 0.12), (s_3, 0.42)], [(s_2, 0.20), (s_3, -0.15)], [(s_3, 0.15), (s_3, 0.27)]\},$$

$$\tilde{S}^- = \{[(s_2, 0.12), (s_3, -0.15)], [(s_2, 0.12), (s_3, -0.47)], [(s_2, 0.45), (s_3, -0.12)]\}.$$

**步骤 5.** 根据式(28)分别计算在指标  $C_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) 下各备选地点  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) 相对于正理想方案  $\tilde{S}^+$  和负理想方案  $\tilde{S}^-$  的后悔效用距离, 如表 8 和表 9 所示。



**Table 8.** Regret effect distance from positive ideal solution  
**表 8.** 与正理想方案间的后悔效用距离

	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$A_1$	0.08	0.04	0.16
$A_2$	0.53	0	0
$A_3$	0.06	0.13	0.36
$A_4$	0	0.03	0.05

**Table 9.** Regret effect distance from negative ideal solution  
**表 9.** 与负理想方案间的后悔效用距离

	$C_1$	$C_2$	$C_3$
$A_1$	0.08	0.04	0.16
$A_2$	0.53	0	0
$A_3$	0.06	0.13	0.36
$A_4$	0	0.03	0.05

**步骤 6.** 利用式(32)和(33)分别对各备选地点  $A_i (i=1,2,\dots,m)$  在所有指标下相对于正、负理想方案的后悔效用距离进行集结, 如表 10 所示。

**Table 10.** Weighted regret effect distance between each feasible location between positive (negative) ideal solution  
**表 10.** 各备选地点与正、负理想方案间的加权后悔效用距离

	$d^+$	$d^-$
$A_1$	0.10	0.22
$A_2$	0.13	0.19
$A_3$	0.21	0.12
$A_4$	0.03	0.29

**步骤 7.** 利用式(34)计算备选地点  $A_i (i=1,2,3,4)$  相对于正理想方案的相对贴近系数:

$$R_1 = 0.6872, R_2 = 0.5930, R_3 = 0.3586, R_4 = 0.9022$$

**步骤 8.** 按照相对贴近系数  $R_i$  由大到小的顺序对所有备选地点  $A_i (i=1,2,3,4)$  进行排序, 排序结果为  $A_4 > A_1 > A_2 > A_3$ 。由此可得,  $A_4$  为最优的前置仓备选地点。

## 5. 结论

为了解决异构信息环境下的前置仓选址问题, 本文基于后悔理论提出了面向异构数据的多属性群决策方法。首先, 为了处理异构评价信息, 提出了将梯形区间二型模糊数、影像模糊数和多粒度区间语言术语统一转化为区间二元语义的方法; 然后, 考虑到决策者的心理行为, 利用后悔效用计算各前置仓备选地点与正负理想方案的距离; 并以此为基础, 利用 TOPSIS 法确定各前置仓备选地点与正理想方案的相对贴近度, 以实现备选地点的排序及择优。通过算例分析说明所提出方法的可行性, 为异构信息环境下的前置仓选址提供了一个新的思路。该方法也可推广到人员绩效评价、服务质量评估、物流供应商选择等领域, 具有比较广阔的应用前景和实用价值。

## 基金项目

教育部人文社会科学研究青年基金(19YJC630107)、对外经济贸易大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(20YQ04)、对外经济贸易大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(17QN01)。

## 参考文献

- [1] 何振绮, 陈宏志. 电子商务时代的企业国际供应链管理研究[J]. 物流技术, 2007, 26(8): 144-146.
- [2] 孙颖, 池宏, 贾传亮. 多路径下应急资源调度的非线性混合整数规划模型[J]. 运筹与管理, 2007, 16(5): 5-8.
- [3] Darani, S.K., Eslami, A.A., Jabbari, M. and Asefi, H. (2018) Parking Lot Site Selection Using a Fuzzy AHP-TOPSIS Framework in Tuyserkan, Iran. *Journal of Urban Planning and Development*, **144**, 18-22. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000456](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000456)
- [4] 邱晗光, 周愉峰. 基于嵌套 Logit 选择模型的城市配送自提柜选址-路径问题[J]. 计算机应用, 2018, 38(2): 582-588.
- [5] Bravo, M., Jones, D. and Santamaria, D. (2018) Robustness of Weighted Goal Programming Models: An Analytical Measure and Its Application to Offshore Wind-Farm Site Selection in United Kingdom. *Annals of Operations Research*, **267**, 65-79. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2437-z>
- [6] Zadeh L.A. (1965) Fuzzy Sets. *Information & Control*, **8**, 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- [7] Zadeh, L.A. (1974) The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning. *Information Sciences*, **8**, 199-249. [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2106-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2106-4_1)
- [8] Mendel, J.M. and John, R.I.B. (2002) Type-2 Fuzzy Sets Made Simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **10**, 117-127. <https://doi.org/10.1109/91.995115>
- [9] Chen, S.M. and Lee, L.W. (2010) Fuzzy Multiple Attributes Group Decision-Making Based on the Interval Type-2 TOPSIS Method. Pergamon Press, Inc., Oxford. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2011.6016692>
- [10] Chen, S.M. and Lee, L.W. (2010) Fuzzy Multiple Attributes Group Decision-Making Based on the Ranking Values and the Arithmetic Operations of Interval Type-2 Fuzzy Sets. *Expert Systems with Applications*, **37**, 824-833. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.094>
- [11] 胡军华, 张砚. 基于相似度的区间二型模糊多准则群决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(6): 1242-1248.
- [12] Cường, B.C. (2014) Picture Fuzzy Sets. *Journal of Computer Science & Cybernetics*, **30**, 409-420. <https://doi.org/10.15625/1813-9663/30/4/5032>
- [13] Garg, H. (2017) Some Picture Fuzzy Aggregation Operators and Their Applications to Multicriteria Decision-Making. *Arabian Journal for Science & Engineering*, **42**, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2625-9>
- [14] Herrera, F. and Martinez, L. (2000) A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **8**, 746-752. <https://doi.org/10.1109/91.890332>
- [15] 刘兮, 陈华友, 周礼刚. 多粒度区间语言信息的 C-OWH 算子及其应用[J]. 运筹与管理, 2012, 21(2): 14-22.
- [16] Bell, D.E. (1982) Regret in Decision Making under Uncertainty. *Operations Research*, **30**, 803-1022. <https://doi.org/10.1287/opre.30.5.961>
- [17] Loomes, G. and Sugden, R. (1982) Regret Theory: An Alternative Theory of Rational Choice under Uncertainty. *Economic Journal*, **92**, 805-824. <https://doi.org/10.2307/2232669>
- [18] 常浩, 王春峰, 房振明. 通胀风险下基于 HARA 效用的 DC 型养老金计划[J]. 运筹学学报, 2016, 20(4): 39-51.
- [19] Chorus, C. (2012) Regret Theory-Based Route Choices and Traffic Equilibria. *Transportmetrica*, **8**, 291-305. <https://doi.org/10.1080/18128602.2010.498391>
- [20] Zhang, S., Zhu, J, Liu, X. and Chen, Y. (2016) Regret Theory-Based Group Decision-Making with Multidimensional Preference and Incomplete Weight Information. *Information Fusion*, **31**, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2015.12.001>