

基于区间直觉模糊数的多属性决策模型在顾客需求偏好中的应用

张 洋, 周梓昕, 陶家亮, 武俊珂

上海理工大学理学院, 上海

收稿日期: 2022年4月20日; 录用日期: 2022年5月18日; 发布日期: 2022年5月26日

摘 要

随着电子商务的快速发展, 消费者的评论在顾客的需求偏好中的影响越来越大。但是, 客户的评论中往往蕴含着大量的不确定信息, 很难使用精准数据去刻画决策数据。而且现有研究中的属性权重确定大多是由专家直接确定, 没有考虑到消费者的个人偏好。针对上述问题, 本文提出了一种基于区间直觉模糊数的多属性决策模型来解决顾客的需求偏好问题。首先, 引入区间直觉模糊的思想, 将其转化为多准则决策(MCDM)问题, 并以区间直觉模糊数的形式来刻画其中包含的决策信息; 其次, 使用BWM算法来计算指标权重, 科学、准确地反映出顾客对于每个指标的个人偏好信息; 继而, 基于比率分析的区间直觉模糊多重目标优化(IVIF-MULTIMOORA)对产品进行排名, 使用三种方法来建立鲁棒的决策。最后, 通过拥有不同需求偏好的两个顾客进行实例分析, 分别确定两名顾客不同的备选产品排序, 找出最适合他们的产品, 并且通过对比试验和灵敏度分析说明了本文的有效性。

关键词

区间直觉模糊, BWM, 多准则决策问题

Application of Multi-Criteria Decision Model Based on Interval Intuitionistic Fuzzy Number in Customer Demand Preference

Yang Zhang, Zixin Zhou, Jialiang Tao, Junke Wu

College of Science, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Apr. 20th, 2022; accepted: May 18th, 2022; published: May 26th, 2022

Abstract

With the rapid development of e-commerce, consumers' reviews have more and more influence on customers' demand preferences. However, customer reviews often contain a lot of uncertain information, and it is difficult to describe decision data with accurate data. In addition, most of the existing studies on determining criteria weight are directly determined by experts, without considering the personal preferences of consumers. Aiming at the above problems, this paper proposes a multi-criteria decision model based on interval intuitionistic fuzzy number to solve the problem of customer demand preference. Firstly, the concept of interval intuitionistic fuzzy is introduced, which is transformed into multi-criteria decision making (MCDM) problem, and the decision information contained in it is described with the form of interval intuitionistic fuzzy number. Secondly, BWM algorithm is used to calculate the attribute weight, which reflects the customer's personal preference information for each attribute scientifically and accurately. Then, the products were ranked using the interval Intuitionistic Fuzzy Multiple Objective Optimization based on a ratio analysis plus a full multiplicative form (IVIF-MULTIMOORA) method that uses three methods to establish a robust decision. Finally, through the case analysis of two customers with different demand preferences, the order of alternative products of two customers is determined respectively, find out the most suitable products. And the effectiveness of this paper is illustrated through comparative test and sensitivity analysis.

Keywords

Interval Intuitionistic Fuzzy Number, BWM, Multi-Criteria Decision Making

Copyright © 2022 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

随着 Web 2.0 网站的出现, 客户对彼此的购买决策影响越来越大, 这改变了顾客的决策过程、态度和购买行为。根据第 49 次《中国互连网络发展状况统计报告》数据统计, 截止到 2021 年 12 月, 我国网络购物用户规模达 8.42 亿, 互联网普及率达 73.0%, 即超过一半的民众都在通过互联网购物。在这种情况下, 如何正确识别顾客的需求偏好已经成为在全球市场上竞争的各大公司的首要问题。公司通过准确、及时的判断顾客的需求偏好[1] [2], 并通过努力获得顾客的满意度, 提高自己在全球市场上的竞争力。

但是, 现在由于消费者产生信息数量繁琐, 而且其中包含大量不准确的信息、不可量化的信息和不完整的信息[3], 很难用精准的实数值来刻画其中蕴含的信息。因此, 部分研究者通过提取消费者产生的信息中的特征将其转化为 MCDM 问题, 并引入模糊多属性决策方法解决问题[4] [5] [6]。模糊集理论最早由 Zadeh [7]于 1965 年提出, 并广泛应用于模糊决策、模糊识别和模糊信息处理等众多领域。随着决策问题越来越复杂以及决策者自身经验积累和知识水平的限制, 决策者通常会表现出犹豫或不确定的态度, 传统的犹豫模糊理论的隶属函数值只能用一个单一的值来表示, 在刻画决策者的犹豫度时存在很大的局限性。因此, Atanassov [8]在 1986 年提出了区间直觉模糊集, 从隶属度、非隶属度和犹豫度三个方面描绘信息的不确定性。此后, Atanassov [9]对直觉模糊集进行推广, 提出了区间直觉模糊集理论, 在模糊信息的处理和表达方面更具有实用性。

近年来区间直觉模糊集理论已引起学者的高度关注,并被广泛应用于各个领域的研究中[10] [11] [12]。王霞[10]提出了一种基于未知权重的 TOPSIS 区间直觉模糊多属性决策方法。吴湘棋[11]将区间直觉模糊理论应用于企业的信用评价研究中,有效的规避了因评价主体单一和主观偏好所导致的偏差。胡鑫[12]将区间直觉模糊集引入到空间均衡水资源优化配置模型中,有效地提高了模型的适用性,降低污水中的 COD 含量。

目前还没有学者使用区间直觉模糊集来处理顾客需求偏好问题,而且现有的区间直觉模糊集排序方法都存在一些局限性,包括:1) 特征权重的确定,现有的权重通常由专家直接给出,没有考虑到消费者的个人偏好。2) 基于单一方法对产品进行排名,没有考虑到决策方法的鲁棒性。因此本文在将区间直觉模糊集应用到顾客需求偏好研究的同时,使用 BWM 算法来计算指标权重,准确地反映出不同的顾客对于每个产品指标的个人偏好信息。最后,使用 IVIF-MULTIMOORA 方法对所有产品进行排序,帮助顾客挑选真正适合自己的产品。

2. 预备知识

2.1. 区间直觉模糊集

定义 1 [9] 设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 是一个非空有限集合,则 X 上的一个区间直觉模糊集 A 定义为:

$$A = \left\{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \right\} \quad (1)$$

其中 $\mu_A(x) \in [0,1]$ 和 $\nu_A(x) \in [0,1]$ 分别表示元素 x 属于集合 A 的隶属区间和非隶属区间所组成的有序区间对,且满足条件 $0 \leq \sup \mu_A(x) + \sup \nu_A(x) \leq 1, \forall x \in X$ 。为了方便起见,可将区间直觉模糊集记为:

$$A = \left\{ \langle x, [\mu_A(x)^L, \mu_A(x)^U], [\nu_A(x)^L, \nu_A(x)^U] \rangle \mid x \in X \right\} \quad (2)$$

其中,称 $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) = [1 - \mu_A(x)^U - \nu_A(x)^U, 1 - \mu_A(x)^L - \nu_A(x)^L]$ 为元素 x 属于集合 A 的犹豫区间。

通常,将元素 x 属于集合 A 的隶属区间 $[\mu_A(x)^L, \mu_A(x)^U]$ 和非隶属区间 $[\nu_A(x)^L, \nu_A(x)^U]$ 所组成的有序区间对 $([\mu_A(x)^L, \mu_A(x)^U], [\nu_A(x)^L, \nu_A(x)^U])$ 称为区间直觉模糊数[13]。

定义 2 [14] 设 $\alpha_i = ([a_i, b_i], [c_i, d_i])$, $(i=1, 2, \dots, n)$ 为一组区间直觉模糊数,有

$$\text{IIFWA}(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \left(\left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - a_i)^{\omega_i}, 1 - \prod_{i=1}^n (1 - b_i)^{\omega_i} \right], \left[\prod_{i=1}^n c_i^{\omega_i}, \prod_{i=1}^n d_i^{\omega_i} \right] \right) \quad (3)$$

其中 ω_i 为 $\alpha_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的权重,且 $\omega_i \in [0,1] (i=1, 2, \dots, n)$, $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ 。称 IIFWA 为区间直觉模糊加权算术平均算子。

定义 3 [14] 设 $\alpha_i = ([a_i, b_i], [c_i, d_i]) (i=1, 2, \dots, n)$ 为一组区间直觉模糊数,有

$$\text{IIFWG}(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \left(\left[\prod_{i=1}^n a_i^{\omega_i}, \prod_{i=1}^n b_i^{\omega_i} \right], \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - c_i)^{\omega_i}, 1 - \prod_{i=1}^n (1 - d_i)^{\omega_i} \right] \right) \quad (4)$$

其中 ω_i 为 $\alpha_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的权重,且 $\omega_i \in [0,1] (i=1, 2, \dots, n)$, $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ 。称 IIFWG 为区间直觉模糊加权几何平均算子。

定义 4 [14] 设 $\alpha_1 = ([a_1, b_1], [c_1, d_1])$ 和 $\alpha_2 = ([a_2, b_2], [c_2, d_2])$ 为两个任意区间直觉模糊数, α_1 和 α_2 的得分函数分别为 $S(\alpha_1) = \frac{a_1 + b_1 - c_1 - d_1}{2}$, $S(\alpha_2) = \frac{a_2 + b_2 - c_2 - d_2}{2}$, α_1 和 α_2 的精准函数分别为

$$H(\alpha_1) = \frac{a_1 + b_1 + c_1 + d_1}{2}, \quad H(\alpha_2) = \frac{a_2 + b_2 + c_2 + d_2}{2}, \quad \text{则有:}$$

- 1): 若 $S(\alpha_1) < S(\alpha_2)$, 则有 $\alpha_1 < \alpha_2$;
- 2): 若 $S(\alpha_1) = S(\alpha_2)$, 则① 若 $H(\alpha_1) < H(\alpha_2)$, 则 $\alpha_1 < \alpha_2$; ② 若 $H(\alpha_1) = H(\alpha_2)$, 则 $\alpha_1 = \alpha_2$ 。

2.2. BWM 方法

BWM 方法由决策者识别出最优以及最差 2 种指标, 并分别和其余指标进行两两对比确定指标权重。整个过程只需要进行 $2n-3$ 次两两对比, 简化了以往方法繁琐的过程, 降低了由于决策者思维混乱导致的误差, 提高了结果的一致性和可靠性。

具体计算步骤如下[15]。

- 1): 定义指标集合。使用一组指标集合 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 描述所需评价的目标对象。
- 2): 选取最佳指标和最差指标。决策者根据自身实际情况从指标集合 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 中挑选出最佳指标 C_B 和最差指标 C_W 。
- 3): 确定其他指标相对于最佳指标的重要程度。使用数字 1~9 分别表示其他指标相对于最佳指标的重要程度, 构造比较向量 $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$, 其中, a_{Bn} 代表最佳指标 C_B 相对于第 n 个指标的重要程度。1 表示 C_B 和 C_n 同等重要, 9 表示 C_B 相对于 C_n 极端重要。
- 4): 确定其他指标相对于最差指标的重要程度。使用数字 1~9 分别表示其他指标相对于最差指标的重要程度, 构造比较向量 $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})$, 其中, a_{nW} 代表第 n 个指标相对于最差指标 C_W 的重要程度。1 表示 C_W 和 C_n 同等重要, 9 表示 C_n 相对于 C_W 极端重要。
- 5): 确定指标权重 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。构建数学规划模型并求解。

$$\begin{aligned} & \min \max_j \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \right\} \\ & \text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j = 1 \\ w_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

其中, w_B 表示最佳指标 C_B 的权重, w_W 表示最差指标 C_W 的权重, w_j 表示第 j 个指标的权重, a_{Bj} 表示最佳指标 C_B 相对于指标 j 的重要程度, a_{jW} 表示指标 j 相对最差指标 C_W 的重要程度。

2.3. IVIF-MULTIMOORA

IVIF-MULTIMOORA 方法是 Brauers [16]提出的基于比率分析的多目标优化技术在区间直觉模糊集上的扩展形式。在这种方法中主要是通过比率系统、参考点和全乘法形式三种方法确定排名。然后, 根据优势理论对最终秩进行聚合, 建立鲁棒决策。步骤如下:

- 1): 构造决策矩阵。

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1j} & \cdots & t_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{i1} & \cdots & t_{ij} & \cdots & t_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{m1} & \cdots & t_{mj} & \cdots & t_{mn} \end{pmatrix}; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

其中 $t_{ij} = ([\hat{\mu}_{ij}^L, \hat{\mu}_{ij}^U], [\hat{\nu}_{ij}^L, \hat{\nu}_{ij}^U])$ 。

2): 多目标决策系统的指标分为效益和成本两个方面, 将所有成本指标转化为效益指标。

3): 比率系统的方法

3.a): 利用 IIFWA 算子形成加权矩阵。

$$U_i^{RS} = \text{IIFWA}(t_{ij}, \omega_i) = ([\mu_{t_{ij}}^{RSL}, \mu_{t_{ij}}^{RSU}], [v_{t_{ij}}^{RSL}, v_{t_{ij}}^{RSU}]) \quad (6)$$

3.b): 对 U_i^{RS} 进行解模糊处理。

$$\hat{U}_i^{RS} = \frac{\mu_{t_{ij}}^{RSL} + \mu_{t_{ij}}^{RSU} - v_{t_{ij}}^{RSL} - v_{t_{ij}}^{RSU}}{2} \quad (7)$$

3.c): 对 \hat{U}_i^{RS} 进行归一化处理, 并排序。

$$\bar{U}_i^{RS} = \frac{\hat{U}_i^{RS}}{\max_i \hat{U}_i^{RS}} \quad (8)$$

4): 参考点的方法

4.a): 确定参考点 r^+ 。其中参考点 $r^+ = ([\max_i \hat{\mu}_{ij}^L, \max_i \hat{\mu}_{ij}^U], [\min_i \hat{\nu}_{ij}^L, \min_i \hat{\nu}_{ij}^U])$, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

4.b): 计算距离加权矩阵 D 。

$$D = [d_{ij}]; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

其中, $d^{ij} = \omega^j d(t^{ij}, r^+)$ 。

4.c): 根据切比雪夫距离原理计算每个方案的最大偏差。

$$U_i^{RP} = \max_j d_{ij}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

4.d): 对 U_i^{RP} 进行归一化处理, 并排序。

$$\bar{U}_i^{RP} = \frac{\min_i U_i^{RP}}{U_i^{RP}} \quad (11)$$

5): 全乘法形式的方法

5.a): 利用 IIFWG 算子形成加权矩阵。

$$U_i^{MF} = \text{IIFWG}(t_{ij}, \omega_i) = ([\mu_{t_{ij}}^{MFL}, \mu_{t_{ij}}^{MFU}], [v_{t_{ij}}^{MFL}, v_{t_{ij}}^{MFU}]) \quad (12)$$

5.b): 对 U_i^{MF} 进行解模糊处理。

$$\hat{U}_i^{MF} = \frac{\mu_{t_{ij}}^{MFL} + \mu_{t_{ij}}^{MFU} - v_{t_{ij}}^{MFL} - v_{t_{ij}}^{MFU}}{2} \quad (13)$$

5.c): 对 \hat{U}_i^{MF} 进行归一化处理, 并排序。

$$\bar{U}_i^{MF} = \frac{\hat{U}_i^{MF}}{\max_i \hat{U}_i^{MF}} \quad (14)$$

6): 先通过 RS、RP 和 MF 三种方式对备选方案进行排序, 然后利用优势理论得到最终的排序结果。

3. 问题的概述与决策方法

3.1. 问题概述

设 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 为顾客偏好的备选产品集合, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 为备选产品的产品属性集合, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 为属性集 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 的权重向量。记 $t_{ij} = ([\hat{\mu}_{ij}^L, \hat{\mu}_{ij}^U], [\hat{\nu}_{ij}^L, \hat{\nu}_{ij}^U])$ 为产品 $P_i \in P$ 关于属性 $C_j \in C$ 的评价值, t_{ij} 为区间直觉模糊集, $[\hat{\mu}_{ij}^L, \hat{\mu}_{ij}^U]$ 和 $[\hat{\nu}_{ij}^L, \hat{\nu}_{ij}^U]$ 分别为产品 $P_i \in P$ 关于属性 $C_j \in C$ 的隶属度和非隶属度。矩阵 T 为该顾客偏好问题的区间直觉模糊决策矩阵。

3.2. 决策步骤

Step 1 确定备选产品 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 的产品属性集合 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 。

Step 2 从产品属性集中确定最佳属性 C_B 和最差属性 C_W 。

Step 3 根据公式(5)计算产品属性的特征权重 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

Step 4 使用 IVIF-MULTIMOORA 排序方法计算 RS、RP 和 MF 三种方法对备选产品的排名结果。

Step 5 利用优势理论综合考虑 RS、RP 和 MF 三种方法得出的备选产品排名结果, 确定最终的产品排序结果。

4. 实例分析

本文通过两位顾客根据自身喜好挑选手机的具体实例来探讨所提方法的可行。有 5 个备选手机产品 $A_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ 可供选择, 通过对手机的综合性能分析确定了 4 项手机评价指标: 价格 C_1 、电池 C_2 、屏幕 C_3 、相机 C_4 。根据每种备选手机产品的性能指标的评价信息经过处理后得到区间直觉模糊决策信息矩阵 $T = (t_{ij})_{5 \times 4}$, 见表 1。

下面使用第三节提出的决策方法, 根据每位消费者自身的选择偏好确定最适合消费者的手机产品。

Step 1 顾客 A 根据自身的喜好从手机评价指标中确定最佳属性为价格 C_1 、最差属性为屏幕 C_3 。确定其他属性相对于最佳属性 C_1 和最差属性 C_3 的比较向量分别为 $A_B^A = (1, 6, 9, 4)$ 、 $A_W^A = (9, 7, 1, 3)$ 。顾客 B 根据自身的喜好从手机评价指标中确定最佳属性为相机 C_4 、最差属性为电池 C_2 。确定其他属性相对于最佳属性 C_4 和最差属性 C_2 的比较向量分别为 $A_B^B = (7, 9, 2, 1)$ 、 $A_W^B = (5, 1, 3, 9)$ 。

Table 1. Interval intuitionistic fuzzy decision information matrix for mobile phone products

表 1. 手机产品的区间直觉模糊决策信息矩阵

	C_1	C_2	C_3	C_4
P_1	([0.084, 0.161], [0.709, 0.792])	([0.271, 0.411], [0.448, 0.589])	([0.463, 0.608], [0.269, 0.413])	([0.102, 0.130], [0.752, 0.782])
P_2	([0.358, 0.404], [0.409, 0.472])	([0.268, 0.343], [0.493, 0.570])	([0.129, 0.181], [0.679, 0.734])	([0.206, 0.343], [0.516, 0.656])
P_3	([0.517, 0.545], [0.126, 0.144])	([0.804, 0.824], [0.017, 0.024])	([0.696, 0.720], [0.022, 0.031])	([0.915, 0.929], [0.008, 0.013])
P_4	([0.591, 0.623], [0.077, 0.096])	([0.983, 0.990], [0.000, 0.003])	([0.949, 0.962], [0.003, 0.008])	([0.891, 0.911], [0.013, 0.022])
P_5	([0.887, 0.901], [0.014, 0.020])	([0.843, 0.859], [0.011, 0.016])	([0.849, 0.865], [0.014, 0.019])	([0.733, 0.753], [0.037, 0.046])

Step 2 根据公式(5)计算顾客 A 和顾客 B 的收集特征权重。权重计算结果分别为 $\omega_A = (0.625, 0.207, 0.051, 0.117)$, $\omega_B = (0.124, 0.049, 0.265, 0.562)$ 。

Step 3 使用 IVIF-MULTIMOORA 方法确定手机产品排名。表 1 的决策矩阵和 BWM 方法得到的属性权重在此步骤作为 IVIF-MULTIMOORA 方法的输入。顾客 A 和顾客 B 关于比率系统、参考点和全乘法形式方法的结果及基于优势理论的聚合结果如表 2 和表 3 所示。

Table 2. Customer A's product ranking results

表 2. 顾客 A 的产品排名结果

	比率系统 \bar{U}_i^{RS}	排名	参考点 \bar{U}_i^{RP}	排名	全乘法形式 \bar{U}_i^{MF}	排名	优势理论最 终排名
P_1	0.1885	5	0.0546	5	0.5573	3	4
P_2	0.2613	4	0.0724	4	0.5421	4	5
P_3	1.0	1	0.1895	3	0.5260	5	2
P_4	0.9639	2	0.2907	2	0.7226	2	3
P_5	0.6120	3	1.0	1	1.0	1	1

Table 3. Customer B's product ranking results

表 3. 顾客 B 的产品排名结果

	比率系统 \bar{U}_i^{RS}	排名	参考点 \bar{U}_i^{RP}	排名	全乘法形式 \bar{U}_i^{MF}	排名	优势理论最 终排名
P_1	0.1770	5	0.0524	5	0.5536	4	5
P_2	0.2019	4	0.0548	4	0.4982	5	4
P_3	0.7683	2	0.4046	2	0.7994	3	2
P_4	1.0	1	1.0	1	1.0	1	1
P_5	0.7310	3	0.3647	3	0.8022	2	3

Step 4 根据最终的优势理论排名结果确定顾客 A 的最佳手机产品为 P_5 ，顾客 B 的最佳手机产品为 P_4 。

5. 对比试验和灵敏度分析

为了证明本文提出的方法的合理性和优势，我们将所提方法和[5] [17]的方法进行对比。在使用相同的顾客 A 的数据情况下，产品的排名结果如表 4 所示。

Table 4. Product ranking results comparison

表 4. 产品排名结果对比

方法	排名结果
本文所提出的方法	$P_5 > P_3 > P_4 > P_1 > P_2$
文献[5]的方法	$P_5 > P_4 > P_1 > P_3 > P_2$
文献[17]的方法	$P_5 > P_1 > P_4 > P_3 > P_2$

从表 4 三种方法的排名结果对比中我们可以发现，产品 P_5 和 P_2 都属于排名第一、第五的产品。产品 P_4 、 P_3 和 P_1 都是排名靠中间的三种产品。虽然每种方法得到的排序结果存在差异但是总体来看都是相似的，这就说明了我们方法的有效性和合理性。

由于 MCDM 模型的有效性都依赖于其结果的准确性和可靠性，因此一个更鲁棒的 MCDM 模型就显

得尤为重要。由于特征权重对产品排名顺序的影响, 本文使用敏感性分析来判断本文提出的 MCDM 模型的鲁棒性。敏感度计算公式如下:

$$SC_i = \frac{\sum_{j=1}^N SC_{ij}}{N}, SC_{ij} = \frac{\sum_{w=1}^W D_{ij}^w}{F}, \forall i, j, \omega \in \{0, 0.01, 0.1, 0.2, \dots, 1\} \quad (15)$$

其中 SC_i 是每个方法的总平均灵敏度, SC_{ij} 是方法 i 关于特征 j 的灵敏度系数, D_{ij}^w 是方法 i 的备选排序结果在特征 j 权重改变时发生变化的次数, F 代表特征值发生变化的次数。

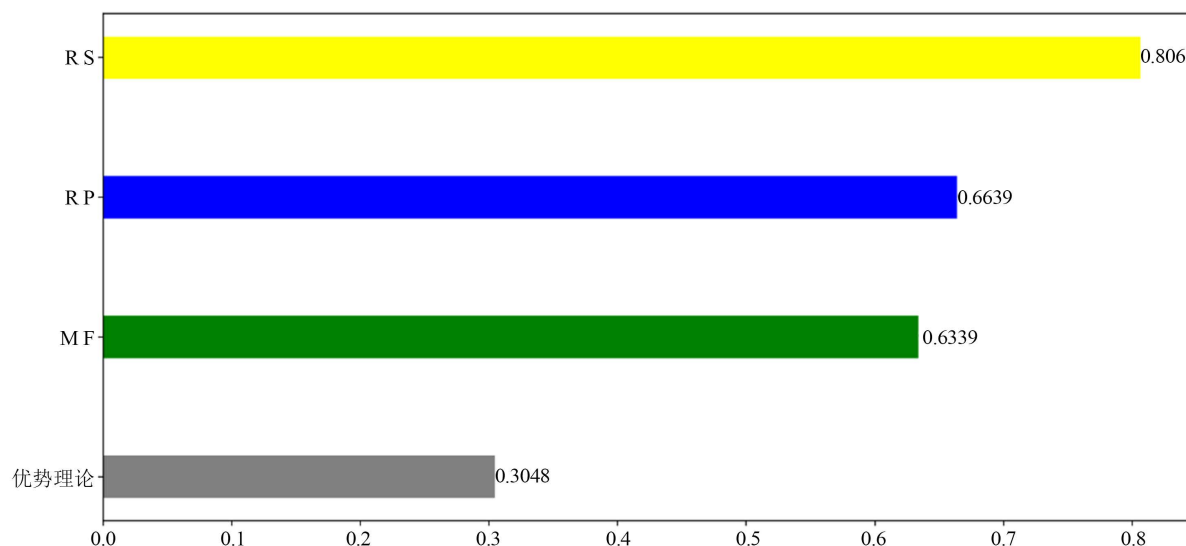


Figure 1. Sensitivity coefficient of each method

图 1. 每种方法的敏感度系数

如图 1 所示, 敏感度的总体结果表明, 与 RS、RP 和 MF 方法相比, 结合优势理论的方案排序的敏感度系数最小(0.3048)。也就是说当准则权值发生改变时, 它对结合优势理论的排名结果影响最小, 具有更强的鲁棒性。因此, 本文所提出的 IVIF-MULTIMOORA 方法成功地改善了多属性决策方法的鲁棒性, 提升了方法的稳健性。

6. 结论

本文针对顾客在购买产品时的需求偏好, 给出了一种基于区间直觉模糊数的多属性决策方法。通过结合 BWM 和 IVIF-MULTIMOORA 方法来评估备选产品, 与现有的多种直觉模糊数排序方法进行对比分析表明, 本文所提出的方法具有更高的产品区分能力, 可以帮助顾客购买满意和真正想要的产品。

随着消费者表达信息的类型和结构的逐渐多样化, 区间直觉模糊集在表示数据信息时会存在一定的局限性, 因此如何准确的描绘出消费者信息中的模糊性和复杂的不确定性是未来一个重要的研究方向。

参考文献

- [1] Gunasekaran, A., Marri, H.B., McGaughey, R.E. and Nebhwani, M.D. (2002) E-Commerce and Its Impact on Operations Management. *International Journal of Production Economics*, **75**, 185-197. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00191-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00191-8)
- [2] Wang, T. and Ji, P. (2010) Understanding Customer Needs through Quantitative Analysis of Kano's Model. *International Journal of Quality & Reliability Management*, **27**, 173-184. <https://doi.org/10.1108/02656711011014294>

- [3] Fan, Z.P., Li, G.M. and Liu, Y. (2020) Processes and Methods of Information Fusion for Ranking Products Based on Online Reviews: An Overview. *Information Fusion*, **60**, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.02.007>
- [4] 魏志远, 岳振军. 基于直觉模糊集的情感分析研究方法[J]. 通信技术, 2017, 50(12): 2692-2697.
- [5] Liu, Y., Bi, J.W. and Fan, Z.P. (2017) Ranking Products through Online Reviews: A Method Based on Sentiment Analysis Technique and Intuitionistic Fuzzy Set Theory. *Information Fusion*, **36**, 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2016.11.012>
- [6] Zhang, D., Wu, C. and Liu, J. (2019) Ranking Products with Online Reviews: A Novel Method Based on Hesitant Fuzzy Set and Sentiment Word Framework. *Journal of the Operational Research Society*, **71**, 528-542. <https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1557021>
- [7] 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)
- [8] Atanassov, K.T. (1986) Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets & Systems*, **20**, 87-96. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)
- [9] Atanassov, K. and Gargov, G. (1989) Interval Valued Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, **31**, 343-349. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(89\)90205-4](https://doi.org/10.1016/0165-0114(89)90205-4)
- [10] 王霞, 陈京荣, 陈琼, 等. 基于未知权重的TOPSIS区间直觉模糊多属性决策[J]. 运筹与模糊学, 2019, 9(4): 299-306. <https://doi.org/10.12677/orf.2019.94035>
- [11] 吴湘棋, 张诗璇. 基于区间直觉模糊集的监理企业信用评价研究[J]. 运筹与模糊学, 2020, 10(2): 139-146. <https://doi.org/10.12677/orf.2020.102014>
- [12] 胡鑫, 冯杰, 苏长青. 基于区间直觉模糊集的空间均衡水资源优化配置模型[J]. 水电能源科学, 2021, 39(10): 50-53+62.
- [13] 徐泽水. 直觉模糊偏好信息下的多属性决策途径[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(11): 62-71.
- [14] 徐泽水. 区间直觉模糊信息的集成方法及其在决策中的应用[J]. 控制与决策, 2007, 22(2): 215-219.
- [15] Rezaei, J. (2015) Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method. *Omega*, **53**, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- [16] Brauers, W.K.M. and Zavadskas, E.K. (2010) Project Management by MULTIMOORA as an Instrument for Transition Economies. *Technological and Economic Development of Economy*, **16**, 5-24. <https://doi.org/10.3846/tede.2010.01>
- [17] Wu, C. and Zhang, D. (2018) Ranking Products with IF-Based Sentiment Word Framework and TODIM Method. *Kybernetes*, **48**, 990-1010.