

基于三角直觉模糊云模型的多属性评价方法及应用

王 宁, 李向缘, 王琦峰

(浙江万里学院 物流与电子商务学院, 浙江 宁波 315100)

摘要:针对属性值为三角直觉模糊数的多属性评价问题,提出基于三角直觉模糊云模型的多属性评价方法,反映不确定性信息的支持程度、非支持程度和犹豫性。首先,考虑决策者在评价过程中存在的模糊性和犹豫性,将决策者的评价信息转化为三角直觉模糊数;其次,结合云模型理论计算数字特征,构造三角直觉模糊决策矩阵;再次,对决策矩阵集成得到评价综合云并绘制三维云图;最后,通过计算云相似度对结果进行分析,为评价对象提出合理建议。通过实例验证,基于三角直觉模糊云模型的方法可以有效地运用在多属性评价问题中。

关键词:三角直觉模糊云模型;组合赋权;多属性评价;云相似度

中图分类号:C934 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)22-0105-08

云模型是一种基于模糊数学和概率统计的模型,它是由李德毅和刘常昱^[1]提出的一种定性和定量转换的模型。该模型不仅通过其数字特征表达了定性概念和定量特性并且还同时兼顾了问题中的模糊性及不确定性。自云模型提出以来,经过了国内外学者的不断深入研究,现已广泛应用于多个领域的多属性评价问题中。张念^[2]通过云模型并引入了一种基于修正期望曲线和KL散度的云相似度计算方法(improved Kullback-Leibler divergence based on cloud model)对我国高校的科技成果转化绩效做出了评价;刘纪坤^[3]将云模型运用在地铁应急管理评价问题中,体现了问题评价过程中存在的模糊性;阎凤^[4]提出一种云模型和证据理论相结合的多属性决策方法;王文亮^[5]运用云模型对粮食供应链企业间的信任度进行评价;周雪^[6]利用组合赋权云模型的方法对铁路旅客的运输安全进行评价。然而,在云模型中并没有直接表示对于不确定性信息的非支持程度的方法。仅使用隶属度来描述对属性的支持程度,使决策者难以全面地描述评价对象的信息^[7]。Garg^[8]提出的直觉模糊集理论通过使用隶属度和非隶属度来表达对事物的支持、反对和中立三种状态,极大提升了处理不确定信息的灵活性。通过将云模型和直觉模糊集理论相结合,可以很好地描述不确定性信息的支持程度、非支持程度和犹豫性。袁华和刘文怡^[7]构建直觉模糊云决策

矩阵,使用TOPSIS法进行综合排序,达到方案优选的目的;何佳蔓^[9]借助直觉模糊集的理论,将云模型分解为支持云模型和反对云模型,通过计算来反映各个决策方案的综合评价。云模型是一种用于处理不确定性信息的数学模型,直觉模糊集理论则是一种用于处理模糊信息的方法。通过将这两种方法结合起来可以更准确地描述不确定性信息的支持程度、非支持程度和犹豫性,有助于提高评价的准确性和可靠性。

在上述文献的基础上,将三角直觉模糊云模型运用到多属性评价问题中。首先,将决策者对属性的评价信息通过三角直觉模糊数来替代传统的精确数进行表达;其次,结合所计算得到的云数字特征作为依据,通过绘制三维云图和计算云相似度得到评价对象的评价结果;最终,通过模型运用,检验该方法的可行性。

1 基础理论

云模型理论认为,决策者在进行决策或评价时的意见并非固定的,而是存在一定模糊性和不确定性的。因此,在解决实际问题时,可以利用云模型来描述和处理具有不确定性的评价信息。

定义1^[1] 设集合 U 是数字表达的定量域, C 是定量域 U 上定性概念,若 U 中的元素 x 是概念 C 的一次随机实现,则 x 对 C 的隶属度 $\mu(x)$ 是具有稳定趋势的随机数,并在定量域 U 上分布的隶属度

收稿日期:2023-09-01

作者简介:王宁(2000—),男,河南焦作人,浙江万里学院物流与电子商务学院,硕士研究生,研究方向为港口物流与供应链管理;通信作者王琦峰(1976—),男,浙江宁波人,浙江万里学院物流与电子商务学院,教授,研究方向为物流与供应链管理;李向缘(1998—),男,湖北宜昌人,浙江万里学院物流与电子商务学院,硕士研究生,研究方向为港口物流与供应链管理。

$\mu(x)$ 被称为隶属云,它被称作为 $C(U)$,且每一个 x 都被称作为一个“云滴”。

$$\mu(x):U \rightarrow [0,1], \forall x \in U, x \rightarrow \mu(x) \quad (1)$$

定义 2:对定性概念 C 的隶属度满足:

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-E_x)^2}{2E_n^2}} \quad (2)$$

定义 3:云模型有 3 个数字特征,分别为期望 (E_x)、熵 (E_n)与超熵 (He)。云滴是构成云的元素,云滴越确定,云就越确定。

E_x : E_x 是在论域中最好地表示定性概念的点,是云模型的云重心。

E_n : E_n 表示了定性概念的不确定性和随机性,它直观地描述了云的离散程度

He :云的厚度取决于熵的不确定性,它是对云凝聚程度的反映。

定义 4^[7]:设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 是一个非空集合,直觉模糊集的定义: $A = \{[x, \mu_A(x), \nu_A(x)] | x \in X\}$,其中 $\mu_A(x)$ 和 $\nu_A(x)$ 代表了元素 x 属于 A 的隶属度和非隶属度: $\mu_A: X \rightarrow [0,1], x \in X \rightarrow \mu_A(x) \in [0,1], \nu_A: X \rightarrow [0,1], x \in X \rightarrow \nu_A(x) \in [0,1]$,对于 $\forall x_i \in X$ 都有 $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ 。此外, $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$ 表示 X 中元素 x 属于 A 的犹豫度或不确定度。

定义 5^[10]:设 $\bar{a} = [(a, a, \bar{a}); \omega_{\bar{a}}, u_{\bar{a}}]$ 是论域 U 中的一个三角直觉模糊集,其隶属度 $\mu_{\bar{a}}(x)$ 和非隶属度 $\nu_{\bar{a}}(x)$ 可以表示为

$$\mu_{\bar{a}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{a-\underline{a}}\omega_{\bar{a}}, & \underline{a} \leq x \leq a \\ \omega_{\bar{a}}, & x = a \\ \frac{a-x}{a-\underline{a}}\omega_{\bar{a}}, & a < x < \bar{a} \\ 0, & x < \underline{a}, x > \bar{a} \end{cases} \quad (3)$$

$$\nu_{\bar{a}}(x) = \begin{cases} \frac{a-x+u_{\bar{a}}(x-\underline{a})}{a-\underline{a}}, & \underline{a} \leq x \leq a \\ u_{\bar{a}}, & x = a \\ \frac{x-a+u_{\bar{a}}(\bar{a}-x)}{a-\bar{a}}, & a < x < \bar{a} \\ 1, & x < \underline{a}, x > \bar{a} \end{cases} \quad (4)$$

若 $\omega_{\bar{a}}$ 和 $u_{\bar{a}}$ 分别表示最大隶属度和最小非隶属度,且 $0 \leq \omega_{\bar{a}} \leq 1, 0 \leq u_{\bar{a}} \leq 1, 0 \leq \omega_{\bar{a}} + u_{\bar{a}} \leq 1$,就认为 $\bar{a} = [(a, a, \bar{a}); \omega_{\bar{a}}, u_{\bar{a}}]$ 是一个三角直觉模糊数。若 $\pi_{\bar{a}}(x) = 1 - \mu_{\bar{a}} - \nu_{\bar{a}}$ 则称 $\pi_{\bar{a}}(x)$ 是三角直觉模糊数 $\bar{a}$ 的直觉模糊指标,它用来表示 x 属于 $\bar{a}$ 的犹豫度。在三角直觉模糊集中, $\bar{a} = [(a, a, \bar{a}); \omega_{\bar{a}}, u_{\bar{a}}]$,

$u_{\bar{a}}$ 表达了评价值 a 的近似值, a 是一个介于 $\underline{a}$ 和 $\bar{a}$ 之间的任意实数,它用来表达不确定的数 $\bar{a}$,且隶属度、非隶属度和犹豫度是每一个实数 a 具有的性质。通俗来说, $\bar{a}$ 最近似或最可能的值是 a ,而 $\omega_{\bar{a}}$ 和 $u_{\bar{a}}$ 分别为它的隶属度和非隶属度。

2 三角直觉模糊云模型方法的评价流程

在多属性评价问题的实际过程中,专家对于属性的评价往往很难给出一个精确值,在云模型理论的基础上,国内外学者提出了使用模糊集和证据理论等方法构建模糊云模型的方法。然而,如果采用上述方法进行模糊决策,专家往往会因无法描述对属性信息的非支持程度从而不可避免地造成评价结果的不合理。因此,考虑到每个决策者看待评价属性的标准不同及思维认知本身存在差异,采用三角直觉模糊数来构建评价专家的评价矩阵,三角直觉模糊数利用隶属度、非隶属度描述信息的不确定性。评价流程如图 1 所示。

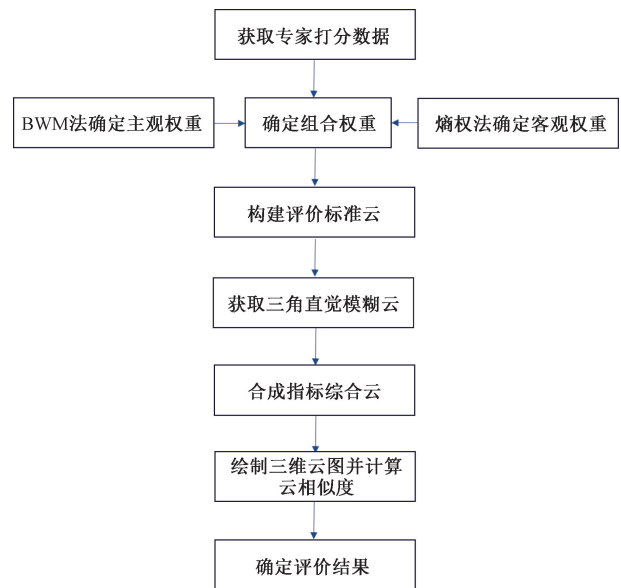


图 1 三角直觉模糊云模型方法评价流程

2.1 获取专家打分数据

假设决策者的集合 $M = \{M_j | j = 1, 2, \dots, q\}$, 属性的集合为 $N = \{N_i | i = 1, 2, \dots, k\}$, 权重集合 $\omega = \{\omega_i | i = 1, 2, \dots, k\}$ 。对专家的原始评价信息进行预处理,得到了表达形式为三角直觉模糊数的评价值: $\bar{a} = [(a, a, \bar{a}); \omega_{\bar{a}}, u_{\bar{a}}]$,考虑到为描述对不确定信息的支持程度和非支持程度,设 x_{ji} 为直觉模糊数,其中 $x_{ji} = [\omega_{\bar{a}}(x_{ji}), u_{\bar{a}}(x_{ji})]$ 且 $j = 1, 2, \dots, q; i = 1, 2, \dots, k$ 。

2.2 确定组合权重

在多属性评价问题中,权重的确定是一个关键

的步骤。主观赋权法是指专家根据自己的专业背景和工作经验,对各个指标评估和排序,然后根据一定的算法计算出权重;客观赋权法以数学原理为基础,评价结果更加科学的组合赋权法一方面弥补了主观赋权存在的主观性,另一方面又避免了客观赋权忽视指标本身所代表的意义。因此,使用组合赋权的方法,在主观权重方面,使用较为新颖并且近年来在多个领域都有着广泛应用的最优最劣法(best-worst method, BWM);在客观权重方面,使用在多属性评价问题的权重确定方面较为常用的熵权法,最后通过改进博弈论对主、客观权重进行计算得到组合权重。

2.2.1 最优最劣法计算主客观权重

最优最劣法(BWM)是一个数学模型,用于求解复杂多准则决策问题中不同元素和指标的权系数,可用于各种决策领域,如信息技术、工程、商业、经济和农业。基本上,只要目标是在一组选项中进行排名和选择偏好,就可以使用这种方法。与广泛应用的层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)相比,BWM的独特优势在于其需要较少的比较次数并且可以得到更可靠、稳定、逻辑和合理的比较^[11]。该方法步骤如下:

步骤 1: 确定最优指标 C_K 和最劣指标 C_L 。

步骤 2: 偏好程度以数字 1~9 进行打分,构造比较向量 $\mathbf{A}_K = (a_{K1}, a_{K2}, \dots, a_{Kn})$, 其中 a_{Ki} 为最优指标 K 相对于其中指标 i 的偏好程度,其中 $a_{KK} = 1$ 。同理,给出最差指标的偏好评级表。

步骤 3: 通过以下公式求式解最优权重。对于任意指标权重 j 的权重 w_i , 必须满足以下条件:

$$\frac{w_R}{w_i} = a_{Rj}, \frac{w_i}{w_L} = a_{jL} \quad (5)$$

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{w_R}{w_i} = a_{Rj} \right|, \left| \frac{w_i}{w_L} = a_{jL} \right| \right\}, \quad \sum_j w_i = 1, w_i > 0 \quad (6)$$

$$\begin{cases} \min \xi \\ \left| \frac{w_R}{w_i} = a_{Rj} \right| \leq \xi \\ \left| \frac{w_i}{w_L} = a_{jL} \right| \leq \xi \\ \sum w_i = 1, w_i > 0 \end{cases} \quad (7)$$

2.2.2 熵权法计算客观权重

熵权法是决策中常用的衡量价值分散程度的赋权方法。分散度越大,差异化程度就越大,可以获得的信息就越多。熵值可以用作由系统提供的

有效信息量的度量,由定量的数据转换为定性的概念,即系统的随机性程度。该方法有效地降低了评价专家的主观倾向对于指标权重确定的影响,能够客观地反映指标的数据变化和指标权重之间的关系^[12]。熵权法的计算公式如下所示。

假设有数量 j 的评价指标,数量 i 的专家打分作为指标数据,可以得到为

评价指标的比重和信息熵为

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (8)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (9)$$

评价指标的权重 w_j 为

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (10)$$

2.2.3 改进博弈论组合赋权模型计算组合权重

近年来,由陈加良^[13]首次提出的博弈论组合赋权法在跨境电商物流业务评价、航道水域安全评价、水电站事故风险评价及小微企业信用评价等领域都有着广泛的应用。然而,传统的博弈论组合赋权方法存在两个缺陷:一是可能存在主客观分配系数极不均匀的情况;二是权重组合系数可能为负值,从而导致所计算的权重为负数。这显然是不合理的。为了克服以上缺陷,引入一种改进的博弈论组合赋权模型^[14],以期得到客观合理的组合权重。

假设使用了 L 种方法计算指标权重,那么计算得到的 L 个权重向量可以表示为 $\mathbf{w}(l)j[\omega_{j1}, \omega_{j2}, \dots, \omega_{jm}]$, $j=1, 2, \dots, L$ 。记 L 个权重向量的任意线性组合为 $\mathbf{w} = \sum_{j=1}^L \alpha_j \mathbf{w}_j^T$ 。其中 α_l 为线性组合系数, $\alpha_l > 0$; $\mathbf{w}$ 为组合权重向量。

为了确保组合系数为非负数,构建以下最优化模型:

$$\begin{cases} \min_{a_1, a_2, \dots, a_L} f = \sum_{i=1}^L \left| \left(\sum_{j=1}^L a_j \mathbf{w}_i \mathbf{w}_j^T \right) - \mathbf{w}_i \mathbf{w}_j^T \right| \\ s. t. \quad a_j > 0, j = 1, 2, \dots, L, \sum_{j=1}^L a_j^2 = 1 \end{cases} \quad (11)$$

$$L(a_j, \lambda) = \sum_{i=1}^L \left| \left(\sum_{j=1}^L a_j \mathbf{w}_i \mathbf{w}_j^T \right) - \mathbf{w}_i \mathbf{w}_i^T \right| + \frac{\lambda}{2} \left(\sum_{j=1}^L a_j^2 - 1 \right) \quad (12)$$

组合系数 $a_j > 0$, 对 $a_j (j = 1, 2, \dots, L)$ 做归一化处理得

$$a_j = \frac{\sum_{j=1}^L w_i w_j^T}{\sqrt{\sum_{i=1}^L \left(\sum_{j=1}^L w_i w_j^T \right)^2}} \quad (13)$$

$$a_j^* = \frac{\sum_{j=1}^L w_i w_j^T}{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L w_i w_j^T} \quad (14)$$

把 a_j^* 带入得到组合权重 w^* :

$$w^* = \sum_{j=1}^L a_j^* w_j^T, j = 1, 2, \dots, L \quad (15)$$

2.3 构建评价标准云

采用德尔菲法, 根据收集到的评价对象的评价信息。将研究对象评语集确定为很差、较差、一般、良好和优秀五个等级, 以此来构建各个评语集

$$\begin{cases} \text{En}_\mu = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \int_0^\mu \{ |a - \alpha(1 - \gamma) - \text{Ex}_\mu| + |a + \beta(1 - \gamma) - \text{Ex}_\mu| \} \gamma d\gamma \\ \text{En}_v = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \int_0^v \{ |a - \alpha(1 - \gamma) - \text{Ex}_v| + |a + \beta(1 - \gamma) - \text{Ex}_v| \} \gamma d\gamma \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} \text{He}_\mu = \frac{1}{2} \left[\int_0^\mu \{ [a - \alpha(1 - \gamma) - \text{Ex}_\mu]^2 + [a + \beta(1 - \gamma) - \text{Ex}_\mu]^2 \} \gamma d\gamma - \text{En}_\mu^2 \right] \\ \text{He}_v = \frac{1}{2} \left[\int_0^v \{ [a - \alpha(1 - \gamma) - \text{Ex}_v]^2 + [a + \beta(1 - \gamma) - \text{Ex}_v]^2 \} \gamma d\gamma - \text{En}_v^2 \right] \end{cases} \quad (18)$$

以期望决策矩阵为例, 通过式(16)计算得到的期望决策矩阵: $\text{Ex}(Z) = [\text{Ex}_\mu(Z), \text{Ex}_v(Z)]$ 其中, $\text{Ex}_\mu(Z) = [\text{Ex}_\mu(z_{ji})]_{k \times q}$, $\text{Ex}_v(Z) = [\text{Ex}_v(z_{ji})]_{k \times q}$, $j = 1, 2, \dots, q; i = 1, 2, \dots, k$ 。同理, 通过式(17)和式(18)计算得到熵决策矩阵和超熵决策矩阵。

2.5 合成指标综合云

考虑到多个不同专家对同一指标的认知难免会存在差异化, 需采用一定的算法来将多朵云评价云集成为一朵云来代表对于单个属性的最终评价结果, 这个过程就叫作云的集成。设论域中有 n 朵云 $[C_1(\text{Ex}_1, \text{En}_1, \text{He}_1), C_2(\text{Ex}_2, \text{En}_2, \text{He}_2), \dots, C_n(\text{Ex}_n, \text{En}_n, \text{He}_n)]$, 通过式(19)~式(21)进行计算, 可将 n 朵云集结成为一朵综合云 $C(\text{Ex}, \text{En}, \text{He})$ [16]。

$$\text{Ex} = \omega_1 \text{Ex}_1 + \omega_2 \text{Ex}_2 + \dots + \omega_n \text{Ex}_n \quad (19)$$

$$\text{En} = \frac{\omega_1 \text{Ex}_1 \text{En}_1 + \omega_2 \text{Ex}_2 \text{En}_2 + \dots + \omega_n \text{Ex}_n \text{En}_n}{\omega_1 \text{Ex}_1 + \omega_2 \text{Ex}_2 + \dots + \omega_n \text{Ex}_n} \quad (20)$$

$$\text{He} = \sqrt{\omega_1^2 \text{He}_1^2 + \omega_2^2 \text{He}_2^2 + \dots + \omega_n^2 \text{He}_n^2} \quad (21)$$

式中: ω_i 为相应指标或评价对象的权重; $(\text{Ex}_i, \text{En}_i,$

子区间所对应的标准云数字特征向量, 实现从指标定性到定量的转化。在确定了评价对象的基础上, 采用魏博文[15]所使用的标准云参数对评语集进行分级。

2.4 获取三角直觉模糊云

经过专家评价信息预处理后所得到的基于三角直觉模糊数的评价值表达式为: $[(a_{ij} - \alpha_{ij}, a_{ij}, a_{ij} + \beta_{ij}), \mu(x), \nu(x)]$, 三角直觉模糊云的期望(Ex)、熵(En)和超熵(He)通过式(12)~式(14)计算得到, 将式中的 $(\text{Ex}_\mu, \text{En}_\mu, \text{En}_\nu)$ 作为支持云模型的数字特征, 而 $(\text{Ex}_v, \text{En}_v, \text{He}_v)$ 是非支持云模型的数字特征。

$$\begin{cases} \text{Ex}_\mu = \int_0^\mu [a - \alpha(1 - \gamma) + a + \beta(1 - \gamma) \gamma] d\gamma \\ \text{Ex}_v = \int_0^v [a - \alpha(1 - \gamma) + a + \beta(1 - \gamma) \gamma] d\gamma \end{cases} \quad (16)$$

He_i) 为相应指标的云数字特征。

首先将直觉模糊云评价矩阵计算所得到的期望决策矩阵、熵决策矩阵和超熵决策矩阵通过式(19)~式(21)集成之后得到一朵评价指标云 $C(\text{Ex}, \text{En}, \text{He})$ 。其次通过式(19)~式(21), 结合各个评价指标的组合权重, 集成后得到本文的评价指标综合云。

2.6 绘制三维云图并计算云相似度

与传统的精确值打分不同, 研究方法中的云数字特征是在三角模糊数的环境下计算获得的, 尽管对比评价云与标准云在同一坐标系内空间分布, 还是能够较为直观地判断评价等级, 但是由于特殊的模糊数环境以及在最终结果判定方面无法实现评价等级的数量化表达。因此, 使用一种基于模糊贴近度的云相似度计算方法[17]作为云相似度计算方法。以期克服由于模糊数环境而导致的超熵值偏大所引发的云滴离散度较高从而难以判定评价等级的困难。

设两朵评价云分别为 V_1 和 V_2 , 其所对应云数字特征值分别为 $V_1(\text{Ex}_1, \text{En}_1, \text{He}_1)$ 和 $V_2(\text{Ex}_2,$

En_2, He_2), 则这两朵云的相似度 $V(V_1, V_2)$ 为

$$V = (V_1, V_2) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\mu} - \mu \quad (22)$$

式中: μ 和 β 的计算公式如式(23)和式(24)所示。

$$\mu = \int_{-\infty}^{\beta} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (23)$$

$$\beta = \frac{|Ex_2 - Ex_1|}{\sqrt{En_1^2 + He_1^2} + \sqrt{En_2^2 + He_2^2}} \quad (24)$$

2.7 确定评价结果

在云模型最终评价结果的判定中,通过云图肉眼直观观察只能将结果确定在一个范围之内,假如综合评价云落在了两个相邻的评价标准云中间,便难以进行判断,无法精确得到具体的结果。为了克服以上问题,通过模糊云相似度的计算,量化了评价综合云和评价标准云之间的隶属程度值,可以将综合云的评价等级锁定在隶属度最大的结果上,从而最终确定评价结果。

3 模型应用

某企业是国内一家著名的汽车制造企业,在面对汽车市场日益激烈的竞争以及顾客对于汽车产品智能化的需求,该企业进行了产业升级,初步实现了向智能汽车制造企业的战略转型。当今社会,企业与企业之间的竞争已经逐渐演化为供应链与供应链之间的竞争,该企业高层管理人员决定对初步转型后的企业供应链进行综合

绩效评价。筛选 5 个在转型之后较为关键的指标作为供应链绩效评价标准: X_1 (财务)、 X_2 (内部流程)、 X_3 (创新与发展)、 X_4 (客户服务) 和 X_5 (信息共享)。

步骤 1: 收集专家评价数据。首先由六位专家组成的专家组对各指标进行评价得到语义评价变量,其次经过语义变量预处理,将专家的评价语言信息转化为三角直觉模糊数。得到的三角直觉模糊云决策数据如表 1 所示。

步骤 2: 评价专家通过讨论和头脑风暴达成共识,一致认为最优指标为内部流程,最劣指标为信息共享。BWM 法确定的主客观权重所构建的最优、最劣评级如表 2、表 3 所示。

使用 MATLAB2017a 对式(1)~式(3)中的数学规划模型进行求解,得到权重 (0.245, 0.379, 0.164, 0.123, 0.089), 一致性指标 $\xi^* = 0.112$, 通过一致性检验 $CR = 0.049 < 0.1$, 证明评价结果合理, 权重可取。

由于三角直觉模糊数的数据形式不适用于熵权法的计算,因此需要将三角模糊数进行转化用于熵权法的计算。取预处理后专家对各指标打分的三角模糊数的中间值作为代表值,使用 Excel 软件通过式(4)~式(6)计算信息熵和权重值作为客观权重。

熵权法计算得到的权重值如表 4 所示。

表 1 三角直觉模糊云决策数据

变量	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6
X_1	[(6.5, 7.6, 8.1), 0.95, 0.05]	[(6.8, 7.2, 8.4), 0.90, 0.05]	[(5.8, 6.9, 8.0), 0.90, 0.05]	[(6.2, 7.9, 9.1), 0.98, 0.02]	[(5.1, 6.4, 8.3), 0.95, 0.05]	[(5.0, 6.5, 7.6), 0.96, 0.03]
X_2	[(6.6, 7.3, 8.5), 0.90, 0.05]	[(7.0, 8.0, 9.0), 0.97, 0.03]	[(6.4, 7.6, 8.8), 0.95, 0.05]	[(6.0, 7.0, 8.5), 0.95, 0.05]	[(6.4, 7.5, 8.9), 0.90, 0.05]	[(6.0, 7.5, 8.5), 0.95, 0.05]
X_3	[(4.0, 5.4, 6.5), 0.85, 0.10]	[(4.1, 5.7, 6.5), 0.88, 0.02]	[(4.4, 5.5, 6.8), 0.95, 0.05]	[(4.0, 6.0, 7.5), 0.95, 0.05]	[(4.0, 5.3, 6.9), 0.90, 0.05]	[(3.8, 5.1, 7.3), 0.94, 0.05]
X_4	[(7.5, 8.5, 9.5), 0.97, 0.03]	[(8.5, 9.2, 9.8), 0.85, 0.15]	[(9.0, 9.3, 9.8), 0.95, 0.05]	[(8.5, 9.6, 9.9), 0.95, 0.05]	[(8.0, 9.4, 9.8), 0.95, 0.05]	[(8.8, 9.5, 9.9), 0.97, 0.03]
X_5	[(3.5, 4.5, 5.5), 0.95, 0.05]	[(3.0, 4.2, 5.8), 0.95, 0.05]	[(2.4, 3.4, 4.8), 0.99, 0.01]	[(2.0, 3.3, 4.5), 0.95, 0.05]	[(2.7, 3.8, 5.0), 0.85, 0.15]	[(3.3, 4.2, 5.5), 0.98, 0.01]

表 2 最优偏好评价

最优偏好	财务	内部流程	创新与发展	客户服务	信息共享
内部流程	2	1	3	4	3

表 3 最劣偏好评价

最劣偏好	财务	内部流程	创新与发展	客户服务	信息共享
信息共享	4	3	2	2	1

表 4 熵权法计算得到的权重值

指标	信息熵	冗余度	权重值
X_1	0.780	0.220	0.262
X_2	0.858	0.142	0.169
X_3	0.828	0.172	0.205
X_4	0.892	0.108	0.128
X_5	0.802	0.198	0.236

改进博弈论组合赋权法通过主、客观权重间的偏差最小化以寻求最准确的指标权重,并且保证了分配系数不会为负值。使用 MATLAB2017a 通过将计算出的主、客观权重向量带入到式(7)~式(11)中计算得到组合权重为 $\omega = (0.253, 0.279, 0.183, 0.125, 0.159)$ 。

步骤3:通过将收集到的汽车行业领域专家以及高校供应链管理方向的教授意见作为参考。将研究对象汽车制造企业供应链绩效的评语集确定为很差、较差、一般、良好和优秀五个等级。规定有效论域为 $[1-10]$,在此基础上取一般的风险评语集的数字特征为 $(5.00, 0.33, 0.05)$,通过评价标准云

$$Ex = [Ex_{\mu}, Ex_v]_{k \times q} =$$

(6.760, 0.018)	(6.378, 0.026)	(5.968, 0.025)	(7.504, 0.003)	(5.875, 0.017)	(6.176, 0.001)	(6.444, 0.015)
(6.952, 0.003)	(7.683, 0.003)	(7.449, 0.001)	(5.994, 0.019)	(7.107, 0.003)	(6.974, 0.003)	(7.026, 0.005)
(4.824, 0.013)	(5.120, 0.002)	(4.997, 0.014)	(5.332, 0.014)	(4.535, 0.020)	(4.655, 0.020)	(4.911, 0.014)
(8.331, 0.001)	(8.002, 0.024)	(8.651, 0.009)	(8.715, 0.004)	(9.046, 0.001)	(8.855, 0.008)	(8.600, 0.008)
(4.061, 0.011)	(3.857, 0.011)	(2.819, 0.036)	(2.657, 0.033)	(2.761, 0.010)	(3.857, 0.011)	(3.335, 0.019)

$$En = [En_{\mu}, En_v]_{k \times q} =$$

(0.832, 0.023)	(0.938, 0.033)	(1.012, 0.031)	(0.693, 0.004)	(0.833, 0.021)	(0.609, 0.001)	(0.815, 0.027)
(0.552, 0.004)	(0.515, 0.004)	(0.520, 0.001)	(0.732, 0.024)	(0.648, 0.004)	(0.688, 0.004)	(0.604, 0.016)
(0.709, 0.016)	(0.677, 0.003)	(0.684, 0.017)	(0.899, 0.018)	(0.911, 0.024)	(0.833, 0.025)	(0.784, 0.020)
(0.447, 0.001)	(0.978, 0.030)	(0.641, 0.011)	(0.860, 0.005)	(0.470, 0.001)	(0.656, 0.010)	(0.671, 0.020)
(0.570, 0.014)	(0.654, 0.014)	(0.702, 0.045)	(0.703, 0.040)	(0.960, 0.012)	(0.560, 0.014)	(0.674, 0.031)

$$He = [He_{\mu}, He_v]_{k \times q} =$$

(0.169, 0.133)	(0.362, 0.158)	(0.466, 0.154)	(0.270, 0.055)	(0.171, 0.127)	(0.339, 0.025)	(0.128, 0.049)
(0.368, 0.055)	(0.382, 0.056)	(0.380, 0.028)	(0.219, 0.136)	(0.311, 0.055)	(0.275, 0.054)	(0.134, 0.030)
(0.251, 0.113)	(0.287, 0.046)	(0.279, 0.117)	(0.301, 0.118)	(0.321, 0.138)	(0.172, 0.139)	(0.111, 0.047)
(0.396, 0.029)	(0.419, 0.151)	(0.317, 0.092)	(0.231, 0.060)	(0.393, 0.030)	(0.305, 0.091)	(0.143, 0.035)
(0.360, 0.105)	(0.307, 0.104)	(0.260, 0.183)	(0.259, 0.175)	(0.395, 0.097)	(0.365, 0.104)	(0.134, 0.054)

步骤5:运用式(15)~式(17)以及步骤3计算所得到的三角直觉模糊云数字特征决策矩阵,将专家的评价值集成得到各指标支持云和非支持云的综合云数字特征值,如表6所示。

将全部指标的数字特征结合属性权重代入式(15)~式(17)进行集成,得到该企业的绩效评价综合支持云为 $(6.063, 0.709, 0.060)$ 。

步骤6:以综合云的云数字特征参数为依据,绘

表6 各个指标支持云与综合非支持云的综合云数字特征

指标	支持云			非支持云		
X_1	6.444	0.815	0.128	0.015	0.027	0.049
X_2	7.026	0.604	0.134	0.005	0.016	0.030
X_3	4.911	0.784	0.111	0.014	0.020	0.047
X_4	8.600	0.671	0.143	0.008	0.020	0.035
X_5	3.335	0.674	0.134	0.019	0.031	0.054

数字特征表来绘制标准云图。标准云数字特征如表5所示。

步骤4:通过式(12)~式(14)计算三角直觉模糊云的数字特征 Ex 、 En 和 He ,并制定期望决策矩阵、熵决策矩阵和超熵决策矩阵。

表5 各评语的云数字特征

评价等级	Ex	En	He
很差	1.00	0.33	0.05
较差	3.00	0.33	0.05
一般	5.00	0.33	0.05
良好	7.00	0.33	0.05
优秀	9.00	0.33	0.05

制三维云图(图2)。由图2可知,非支持云的评价值非常微小,几乎可以忽略不计,而支持云的评价值落在一般和良好之间,但具体更偏向于哪个等级还无法直观地通过肉眼观察来确定。因此,我们需要通过下一步骤,云相似度的计算来确定评价等级。

通过式(1

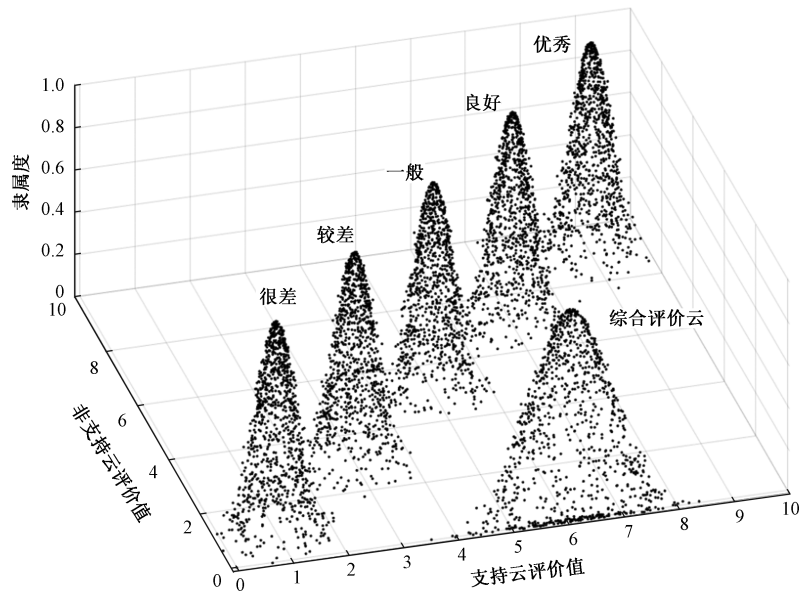


图2 评价三维云图

表7 各指标与评价标准云的云相似度和最终评价等级

指标	等级1	等级2	等级3	等级4	等级5	最终评价等级
X_1	0.019 8	0.086 3	0.298 7	0.764 3	0.172 1	等级4 良好
X_2	0.006 9	0.029 6	0.115 0	0.929 5	0.212 9	等级4 良好
X_3	0.066 1	0.308 8	0.934 5	0.269 8	0.057 8	等级3 一般
X_4	0.001 4	0.004 0	0.010 9	0.318 3	0.526 8	等级5 优秀
X_5	0.177 9	0.860 9	0.203 5	0.053 6	0.011 9	等级2 较差
综合	0.022 3	0.105 6	0.396 0	0.589 2	0.121 8	等级4 良好

出了较强水平,而信息共享评价结果为较差,表明该企业的信息共享方面存在缺陷和不足,有较大的改善空间。根据以上结果的分析,针对该企业的信息共享评价等级较差的问题,提出以下提升汽车制造企业信息共享方面绩效的建议。

首先,发展数字化信息技术。随着信息技术在企业内部的不断发展和完善,数字化水平正在成为提升制造业企业供应链绩效的关键影响因素。对于汽车制造企业来说,通过数字化信息技术,尽可能地消除各环节、各设备和各部门之间的信息壁垒,促使全流程、设备的各种数据相互流通,实现数据的共享互通,提升生产制造过程的智能化、信息化,推进全链条的数字化管控,促进供应链上下游企业之间的协作效率提升。其次,建立信息化共享平台,加深节点企业之间的战略合作。通过信息化共享平台的建立,可以使汽车制造企业的每个节点企业都能及时地掌握消费者的需求信息,有效地解决了由于消费者需求的不确定性而导致的牛鞭效应问题,提升了整条供应链的安全性和稳定性以及对市场需求的响应速度,有助于提升企业供应链的

整体绩效。

4 结语

通过将云模型理论与三角直觉模糊理论相结合,提出一种三角直觉模糊云模型方法,将该方法运用到多属性评价问题,并给出具体步骤和实例,解决属性值为三角直觉模糊数的多属性评价问题。该方法的主要特点有:

1)通过将云模型分解为支持云和非支持云,表达了决策者对于不确定性信息的支持程度和非支持程度,有效地解决了多属性评价问题本身具有的模糊性和不确定性,使得到的评价信息更为全面,评价结果更为可信。

2)通过使用改进博弈论作为组合赋权的方法,使组合权重确定更加严谨和合理,保证了云模型计算结果的科学性。

3)考虑到云模型的形成特点,采用云相似度的计算实现了云模型的精确化,量化了最终的评价结果,避免由于指标云落在两朵标准云中间从而使得结果难以确定的问题。

本文对于多属性评价问题的研究方法而言,一定程度上拓展了研究思路,提升了三角直觉模糊云模型多属性评价方法的普适性和实用性。

参考文献

- [1] 李德毅,刘常昱.论正态云模型的普适性[J].中国科学工程,2004,6(8):29-34.
- [2] 张念.基于博弈论组合赋权和云模型的高校科技成果转化绩效评价研究[J].科技和产业,2023,23(11):98-105.

- [3] 刘纪坤.改进组合赋权云模型下的地铁站突发事件应急能力评价[J].安全与环境学报,2023,23(5):1399-1403.
- [4] 阎凤.云模型和证据推理决策下智慧水务建设绩效评价[J].科技和产业,2023,23(6):34-40.
- [5] 王文亮.基于云模型的需求端粮食供应链信任研究[J].技术经济,2020,39(2):179-184.
- [6] 周雪.基于组合赋权云模型的铁路旅客运输安全评价[J].中国安全科学学报,2020,30(1):158-164.
- [7] 袁华,刘文怡.基于直觉模糊云模型的TOPSIS多属性决策法[J].计算机工程与科学,2017,39(3):605-610.
- [8] GARG H,RANI M,SHARMA S P,et al. Intuitionistic fuzzy optimization technique for solving multi-objective reliability optimization problems in interval environment[J]. Expert Systems with Applications,2014,41(7):3157-3167.
- [9] 何佳蔓.基于云模型的区间直觉模糊数多属性群决策[J].计算机系统应用,2022,31(12):405-410.
- [10] 张茂军.基于三角直觉模糊数的欧式期权二叉树定价模型[J].系统工程理论与实践,2013,33(1):35-38.
- [11] 李晓津.基于BWM-GRA模型的快递型物流企业财务绩效评价研究[J].管理科学,2022,50(7):1-6.
- [12] 程启月.评测指标权重确定的结构熵权法[J].系统工程理论与实践,2010,30(7):1126-1128.
- [13] 陈加良.基于博弈论的组合赋权评价方法研究[J].福建电脑,2003(9):15-16.
- [14] 李爱华.岸边集装箱起重机安全评价方法研究[D].武汉.武汉理工大学,2017.
- [15] 魏博文.基于云模型和组合赋权的岩体质量二维评价模型[J].岩石力学与工程学报,2016,35(1):3093-3095.
- [16] 狄鹏.基于云模型和证据理论的多属性决策优化算法[J].系统工程理论与实践,2021,41(4):1062-1070.
- [17] 龚艳冰.基于模糊贴近度的正态云模型相似度量[J].系统工程,2015,33(9):134-136.

Multi-attribute Evaluation Method and Application of Triangular Intuitionistic Fuzzy Cloud Model

WANG Ning, LI Xiangyuan, WANG Qifeng

(Faculty of Logistics and E-commerce, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, Zhejiang, China)

Abstract: Aiming at the problem of multi-attribute evaluation with triangular intuitionistic fuzzy number, a multi-attribute evaluation method based on triangular intuitionistic fuzzy cloud model was proposed, which reflected the degree of support, non-support and hesitation of uncertain information. Firstly, considering the fuzziness and hesitation of decision makers in the evaluation process, the evaluation information of decision makers was transformed into triangular intuitionistic fuzzy numbers. Secondly, the triangular intuitionistic fuzzy decision matrix was constructed by calculating the numerical characteristics based on cloud model theory. Thirdly, the decision matrix was integrated to get the evaluation synthetic cloud and draw the three-dimensional cloud map. Finally, the results were analyzed by computing cloud similarity, and reasonable suggestions were put forward for the evaluation object. An example shows that the method based on triangular intuitionistic fuzzy cloud model can be effectively applied to the multi-attribute evaluation problem.

Keywords: triangular intuitionistic fuzzy cloud model; combinatorial empowerment; multi-attribute evaluation; cloud similarity