

# 一种基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法

徐文华 陈海燕 张育平 王建东

(南京航空航天大学计算机科学与技术学院 南京 210016)

**摘要** 鉴于现有的综合评价方法大多为刚性的评价,不适用于模糊因素评价,提出了一种基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法,对效益型指标、成本型指标和区间型指标 3 种情况下的真值程度度量过程和参数取值方法进行了设计;并基于真值程度度量结果构造了中介模糊评判矩阵来进行综合评价。为处理模糊信息创建了中介数学系统。相比传统模糊评价方法,基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法更具有客观性,因此能更有效地处理模糊现象。与其他综合评价方法的对比实验表明,所提出的方法是有效的,并具有一定的优越性。

**关键词** 中介真值程度度量,模糊综合评价,隶属函数,中介熵,多属性体系结构

**中图分类号** TP31 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.2.044

## Fuzzy Comprehensive Evaluation Method Based on Measure of Medium Truth Degree

XU Wen-hua CHEN Hai-yan ZHANG Yu-ping WANG Jian-dong

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract** Aiming at the problems that most of the existing comprehensive evaluation methods give rigid evaluation results, and they do not apply to the evaluation of objects with fuzzy factors, a comprehensive evaluation method based on measure of medium truth degree was proposed. The processes of the measure of medium truth degree and the methods of setting the parameters were designed respectively when different types of indexes, such as beneficial index, cost index and interval index, were given. Afterwards, the intermediary fuzzy evaluation matrix was constructed based on the measurement results of medium truth degree. Intermediary mathematical system was created for processing fuzzy information. Compared to the traditional fuzzy evaluation method, the comprehensive evaluation method based on the measure of medium truth degree is more objective so that it is able to deal with fuzzy phenomenon more effectively. The comparative experimental results indicate that compared to other evaluation methods, the proposed method is valid and has certain advantages.

**Keywords** Measure of medium truth degree, Fuzzy comprehensive evaluation, Membership function, Intermediary entropy, Multi-attribute architecture

## 1 引言

综合评价是指从全局性、整体性的角度对多属性体系结构描述的对象做出评价。常用的综合评价方法主要包括:专家评价法、平均加权法、逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS)等<sup>[1]</sup>。这些方法可以处理多决策者、多指标、动态的对象,但要求对待评价对象有精确的描述;当待评价对象包含模糊的或者不确定的因素时,这些评价方法难以获得科学的评判结果。模糊综合评价方法<sup>[2]</sup>可以在一定程度上解决这个问题。

传统的模糊综合评价方法基于模糊变换原理,将权重系数模糊矩阵与模糊关系矩阵进行模糊运算以得到待评价对象对各个评价等级的隶属度矩阵,并根据最大隶属度原则得到评价结果,是综合考虑与待评价对象相关的各个因素后进行

的综合评价。文献[3]将模糊数应用到了酒店服务质量的评价中,在一定程度上去除了人们主观评价的模糊性和二义性。文献[4]则进一步将“信任度”的概念引入到了传统模糊综合评价方法中,提出了一种基于用户在线评价的酒店服务质量综合评价方法。这种方法通过对模糊隶属度矩阵的元素设置相应的信任度值,使得评价结果综合考虑了方案集对于评价集的隶属度和评价结果的可信度两个方面,解决了在线评价由于评价人数差异较大可能导致的评价结果缺乏可信度的问题,使评价结果更加科学。另外,作者还通过为酒店服务的各指标构建模糊认知图来研究各评价指标之间的关系,为提高酒店服务质量提供了更加经济、可行的建议。文献[5]使用了基于群体决策的模糊层次分析法来计算各指标权重,对人们的评价进行了去模糊化处理,使得权重的确定更加客观可信,提高了模糊综合评价方法的精度。然而,在构建隶属度矩阵

到稿日期:2015-01-11 返修日期:2015-04-24 本文受国家 973 计划资助项目(2014CB744901, 2014CB744903, 2014CB744904, 2014CB744905)资助。

徐文华(1992-),女,硕士生,主要研究方向为软件工程与开发技术, E-mail: xstraw@126.com; 陈海燕(1979-),女,博士,讲师,主要研究方向为软件工程; 张育平(1959-),男,副教授,主要研究方向为软件工程; 王建东(1945-),男,教授,主要研究方向为人工智能、信息安全。

时采用的模糊统计法却使得评价结果具有相当大的主观性。文献[6]对传统的模糊综合评价方法进行了改进,不再将隶属度作为模糊关系矩阵的元素值,而是基于各指标的度量值构成模糊关系矩阵,保持定量指标的度量值不变,对定性指标进行模糊化处理并量化,从而得到模糊关系矩阵,最后归一化得到评价结果。这样不仅能计算出待评价方案隶属的等级,而且可以判断出各方案之间的相对优劣。然而,由于定量指标的测量值未经处理就直接作为模糊关系矩阵的值,难以反映该指标下各方案之间的相对好坏,特别是当指标不是越大越好时,结果会造成较大的误差。

中介真值程度度量给出了另一种数值化处理模糊现象的方法。它采用了距离的概念,并以对应谓词真值的数值区域的长度为基准,定义了距离比率函数及其特殊变换来度量真值程度<sup>[7]</sup>。中介真值程度度量已在多个领域得到了有效的应用。文献[8]将中介真值程度的度量方法应用到了图像处理中,设计了基于中介真值程度度量的图像去噪与复原算法,并取得了显著效果。文献[9]将它应用到了虚拟现实系统沉浸感度量中。文献[10]基于层次分析法和中介真值程度度量提出了一种统一的呼叫接纳控制方法,该方法通过对中介参数的灵活调整来达到和满足不同网络的运营目标和性能需求。在模糊评价领域,传统模糊综合评价方法以模糊数学为基础,而模糊数学奠基于精确性经典数学,因此将模糊数学应用在模糊评价中缺乏坚实的理论基础;另一方面,传统模糊综合评价方法中构造隶属函数时具备的主观性也会对评价结果造成较大误差。因此,文献[11]将中介真值程度度量应用到了评价领域,提出了一种基于中介真值程度度量的综合评价方法,它基于距离比率函数计算方案“好”的程度,解决了传统模糊综合评判中隶属函数的选取过于主观的问题;然而,文中没有对评判指标和参数取值作进一步研究,当评判指标的类型不是效益型指标时,难以获得科学的评判结果。

基于上述研究成果,本文提出了一种基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法。针对评价过程中不同类型的指标下真值程度度量过程不尽相同的问题,本文提出在构造中介模糊评判矩阵时,不再是固定地相对某一谓词计算其真值程度函数,而是根据评价指标的不同类型,选择合适的参数和距离比率函数来进行真值程度的度量。最后将所提出的方法和其他综合评价方法在多组数据上进行了实验比对,以验证其有效性和优越性。

## 2 中介真值程度度量

朱梧楨教授和肖奚安教授于1985年建立了中介逻辑系统(Medium Logic system, ML)<sup>[12]</sup>;2006年,洪龙教授提出了中介真值程度的度量方法<sup>[7]</sup>。中介真值程度度量的相关定义如下。

**定义1**  $P$ 为一谓词(概念或性质), $\neg P$ 表示 $P$ 的反对对立面;若存在这样的谓词 $P$ ,有对象 $x$ 部分地具有性质 $P$ ,又部分具有性质 $\neg P$ ,则 $x$ 具有的这种性质称为 $\sim P$ ,并称 $\sim P$ 是 $P$ 和 $\neg P$ 的中介谓词(或 $P$ 的模糊否定谓词)。符号 $+$ 表示“更”这一超态概念。 $^+P$ 表示比 $P$ 更 $P$ , $\neg^+P$ 表示比 $\neg P$ 更 $\neg P$ 。

**定义2** 设 $X$ 是非空集合,对任意的 $a, b \in X$ ,有唯一实数与之对应,且满足对任意的 $a, b, c \in X: d(a, b) = d(b, a); d(a, b) = 0$ 当且仅当 $a = b; d(a, b) + d(b, c) \geq d(a, c)$ ,则称 $d$ 是 $X$ 中的距离,本文采用一维的欧氏距离: $d(a, b) = |a - b|$ 。

**定义3** 给定非空对象集合 $X$ ,称映射 $f: X \rightarrow R^n$ 是对象集合 $X$ 的 $n$ 维数值化映射。对于 $x \in X$ ,子集 $T \subset R^n$ 和 $F \subset R^n$ 分别满足: $f(x) \in T \Leftrightarrow P(x)$ 及 $f(x) \in F \Leftrightarrow \neg P(x)$ ,就称 $T$ 是谓词 $P$ 的“真数值区域”, $F$ 是谓词 $P$ 的“假数值区域”。若 $P$ 的真值对应的数值区域是 $[\alpha - \varepsilon, \alpha + \varepsilon]$ ,则称 $\alpha$ 为 $P$ 的 $\varepsilon$ 标准度。定义2所刻画的数值区域与谓词的真值对应关系如图1所示。

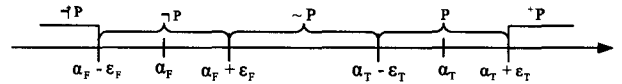


图1 数值区域与谓词的对应关系

**定义4** 相对于 $P$ 的距离比率函数 $h_T: f(X) \rightarrow R$ ,当取 $y = f(x) \in f(X)$ 时,有:

$$h_T(y) = \begin{cases} \frac{-d(y, \alpha_F - \varepsilon_F)}{d(\alpha_T - \varepsilon_T, \alpha_F - \varepsilon_F)}, & y < \alpha_F - \varepsilon_F \\ 0, & \alpha_F - \varepsilon_F \leq y \leq \alpha_F + \varepsilon_F \\ \frac{d(y, \alpha_F + \varepsilon_F)}{d(\alpha_T - \varepsilon_T, \alpha_F + \varepsilon_F)}, & \alpha_F + \varepsilon_F < y < \alpha_T - \varepsilon_T \\ 1, & \alpha_T - \varepsilon_T \leq y \leq \alpha_T + \varepsilon_T \\ \frac{d(y, \alpha_T + \varepsilon_T)}{d(\alpha_T + \varepsilon_T, \alpha_F + \varepsilon_F)}, & y > \alpha_T + \varepsilon_T \end{cases} \quad (1)$$

当假数值区域位于真数值区域两侧时,中介真值程度度量的相关定义如下<sup>[13]</sup>。

**定义5** 设 $Q$ 为一谓词, $\neg^+Q_L$ 是谓词 $Q$ 的左反对对立面, $\neg^-Q_R$ 是谓词 $Q$ 的右反对对立面,且存在过渡 $\sim Q_L$ 表示中介对象部分地具有 $Q$ 与 $\neg^+Q_L$ 的特性,过渡 $\sim Q_R$ 表示中介对象部分地具有 $Q$ 与 $\neg^-Q_R$ 的特性。 $\neg^+Q_L$ 表示比 $\neg^+Q_L$ 更 $\neg^+Q_L$ 。 $\neg^-Q_R$ 表示比 $\neg^-Q_R$ 更 $\neg^-Q_R$ 。

**定义6** 设 $\alpha_T$ 是谓词 $Q$ 的 $\varepsilon_T$ 标准度。 $\alpha_{\neg^+Q_L}$ 是谓词 $\neg^+Q_L$ 的 $\varepsilon_{\neg^+Q_L}$ 标准度。 $\alpha_{\neg^-Q_R}$ 是谓词 $\neg^-Q_R$ 的 $\varepsilon_{\neg^-Q_R}$ 的标准度。定义5所刻画的数值区域与谓词的真值对应关系如图2所示。

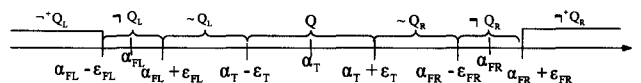


图2 假数值区域位于真数值区域两侧时数值区域与谓词的对应关系

**定义7** 相对于 $Q$ 的距离比率函数 $h_T: f(X) \rightarrow R$ ,当取 $y = f(x) \in f(X)$ 时,有:

$$h_T'(y) = \begin{cases} \frac{-d(y, \alpha_{FL} - \varepsilon_{FL})}{d(\alpha_T - \varepsilon_T, \alpha_{FL} - \varepsilon_{FL})}, & y < \alpha_{FL} - \varepsilon_{FL} \\ 0, & \alpha_{FL} - \varepsilon_{FL} \leq y \leq \alpha_{FL} + \varepsilon_{FL} \\ \frac{d(y, \alpha_{FL} + \varepsilon_{FL})}{d(\alpha_T - \varepsilon_T, \alpha_{FL} + \varepsilon_{FL})}, & \alpha_{FL} + \varepsilon_{FL} < y < \alpha_T - \varepsilon_T \\ 1, & \alpha_T - \varepsilon_T \leq y \leq \alpha_T + \varepsilon_T \\ \frac{-d(y, \alpha_{FR} - \varepsilon_{FR})}{d(\alpha_T + \varepsilon_T, \alpha_{FR} - \varepsilon_{FR})}, & \alpha_T + \varepsilon_T < y < \alpha_{FR} - \varepsilon_{FR} \\ 0, & \alpha_{FR} - \varepsilon_{FR} \leq y \leq \alpha_{FR} + \varepsilon_{FR} \\ \frac{-d(y, \alpha_{FR} + \varepsilon_{FR})}{d(\alpha_T + \varepsilon_T, \alpha_{FR} + \varepsilon_{FR})}, & y > \alpha_T + \varepsilon_T \end{cases} \quad (2)$$

### 3 基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法

#### 3.1 基本思想

基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法以中介真值程度度量为基础,在对待评价方案进行综合评价时,将“好”和“差”作为一组对立谓词,并针对某单项指标选出待评价方案中“好”和“差”的度量值作为相对于这一组谓词的标准度映射到数轴上;然后,通过引入距离比率函数得到该单项指标下待评价方案相对于“好”的真值程度,并进一步结合权重得到所有指标下待评价方案相对于“好”的真值程度;真值程度越高,表明该方案越“好”;反之,该方案越“差”。

#### 3.2 基本步骤

在运用基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法进行评价时,一般可以分为以下几步:

步骤 1:确定初始评判矩阵

确定评判对象集  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  和评判因素集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ,对  $V$  中的每个对象分别用  $U$  中的各个因素进行衡量,从而得到初始评判矩阵  $X = (x_{ij})_{m \times n}$ ,  $x_{ij}$  为第  $i$  个方案中第  $j$  个指标的度量值。

步骤 2:确定中介模糊评判矩阵

计算中介模糊评判矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。其中  $r_{ij}$  表示指标  $u_j$  下对象  $v_i$  “好”的程度。根据指标  $u_j$  的类型,选择合适的参数和距离比率函数来度量真值程度,并根据真值度量结果构成中介模糊评判矩阵。本文对 3 种类型指标的情况进行了详细分析。

1) 效益型指标

本文采用了以下两种效益型指标的参数设置方式。

方式 1:假设  $u_j$  是效益型指标,此时  $x_{ij}$  的值越大越好,因此,可选择  $x = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\}$  中的最大值作为  $\alpha_{T(j)}$ ,最小值作为  $\alpha_{F(j)}$ 。考虑到  $\alpha_F + \epsilon_F < \alpha_T + \epsilon_T$ ,选取  $\epsilon_T = \epsilon_F$  为  $x$  中元素值最小差值的一半。并将  $h_T(x_{ij})$  作为中介模糊评判矩阵的元素值。

方式 2:将  $x = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\}$  从大到小进行排序,并选择第  $\lfloor m/4 \rfloor + 1$  个元素值,记为  $\alpha_{T(j)}$ ;选择第  $\lfloor 3m/4 \rfloor + 1$  个元素值,记为  $\alpha_{F(j)}$ 。 $\epsilon_T, \epsilon_F$  的取值方法与方式 1 相同。

有关这两种参数设置方法的实际效果,将在 5.3 节的实验中给出详细说明。

2) 成本型指标

假设  $u_j$  是成本型指标,则  $x_{ij}$  的值越小越好。此时,参数设置方法与效益型指标相同,只需将  $1 - h_T(x_{ij})$  作为中介模糊评判矩阵的元素值。

3) 区间型指标

假设  $u_j$  是区间型指标,且当  $x_{ij} \in [\lambda, \beta]$  时达到最佳效果。此时,参照图 2,可将  $\alpha_T - \epsilon_T$  取作  $\lambda$ ,  $\alpha_T + \epsilon_T$  取作  $\beta$ 。将  $x = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\}$  从大到小进行排序,并将最大值记为  $\max$ ,最小值记为  $\min$ ,则在  $[\min, \lambda]$  上的元素值越大越好,在  $[\beta, \max]$  上的元素值越小越好。因此可在这两个区间上分别对  $\alpha_{FL} - \epsilon_{FL}, \alpha_{FL} + \epsilon_{FL}$  和  $\alpha_{FR} - \epsilon_{FR}, \alpha_{FR} + \epsilon_{FR}$  取值,取值过程与效益型指标和成本型指标的取值过程类似。并将  $h'_T(x_{ij})$  作为模糊评判矩阵的元素值。

步骤 3:确定权重系数

计算各指标权重  $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 。确定权重系数的

方法有很多,通常可分为主观赋权法、客观赋权法、主客观赋权法 3 种,可根据情况选择不同的权重值设定方法。

步骤 4:确定最终综合评判集

将运用合适的方法得到的因素权重集  $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  与中介模糊评判矩阵  $R$  结合即可得到综合评判集  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ 。

$$D^T = R \times W^T = (r_{ij})_{m \times n} \times (w_i)_{n \times 1} = (d_i)_{m \times 1} \quad (3)$$

将  $d_i$  从大到小排序,即可得到待评价方案从优到劣的排名情况。

### 4 两种模糊评价方法的理论比较

基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法与传统模糊综合评价方法都能有效地处理模糊现象,实现模糊性事物的有效评估。下面从数学基础和评价过程方面对这两种模糊评价方法进行分析和比较。

#### 4.1 数学基础比较

模糊综合评价是以模糊数学为基础的一种评判方法,而基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法则基于中介数学系统。从理论基础来说,模糊数学直接奠基于精确性经典数学,当前一切用来研究模糊数学的方法,都没有超出经典数学及其理论基础的范畴<sup>[14]</sup>,而中介数学系统是在中介原则之上构建了反应模糊性的逻辑系统,并以其作为配套的推理工具,建立了反应模糊性的集合论系统<sup>[15]</sup>,它不依赖于经典的逻辑演算系统或者集合论系统<sup>[16]</sup>。从创立角度来说,模糊数学理论是从应用研究的理论角度创立和发展的,而中介数学理论则是从纯数学理论角度提出的。因此,中介数学具有更加坚实的逻辑基础和集合论基础,更加适用于模糊的场合。

#### 4.2 评判过程比较

在模糊综合评价过程中,隶属函数的构造是最为关键的一步。隶属函数的构造方法主要有模糊统计法和典型函数法。模糊统计法根据大量的实验统计数据获得统计规律,典型函数法则通过套用现成的模糊分布来确定隶属函数。由此看出,隶属函数的构造具有很大程度的主观性和经验性。而在基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法中,对真值程度函数的计算即相当于隶属度的计算。中介真值程度函数基于距离的概念,定义了距离比率函数及距离比率的特殊变换来刻画对象相对于某一谓词的隶属程度,具有计算机可处理的定量形式,因此真值程度函数的定义具有客观性和普适性的特点<sup>[7]</sup>。另一方面,基于中介真值程度度量的综合评价过程还可以使用中介熵来衡量模糊程度<sup>[17]</sup>,使得评判结果更加全面和符合实际。

### 5 实验结果及分析

#### 5.1 对天气温暖程度的评价

现分别用基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法和传统模糊综合评价方法对天气的温暖程度进行评价。若规定温度不小于  $28^\circ\text{C}$  为热,温度小于  $8^\circ\text{C}$  为冷,则温度在  $[8, 28)$  区域为暖和。A 地某周的日气温用向量  $T_A = (32, 32, 35, 28, 34, 31, 35)$  表示, B 地某周的日气温用向量  $T_B = (31, 32, 32, 36, 38, 34, 36)$  表示。

1. 用传统模糊综合评价方法进行评价

对“冷”、“热”、“温暖”分别确定隶属函数。

$$\text{冷: } S(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 8 \\ \frac{18-x}{10}, & 8 < x < 18 \\ 0, & x \geq 18 \end{cases}$$

$$\text{温暖: } S(x) = \begin{cases} \frac{x-8}{10}, & 8 \leq x \leq 18 \\ \frac{28-x}{10}, & 18 < x \leq 28 \\ 0, & x > 28 \text{ 或 } x < 8 \end{cases}$$

$$\text{热: } S(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 28 \\ \frac{x-18}{10}, & 18 < x \leq 28 \\ 0, & x \leq 18 \end{cases}$$

则 A 地对于“热”、“温暖”、“冷”的隶属度分别为(1,0,0), B 地对于“热”、“温暖”、“冷”的隶属度分别为(1,0,0)。由此看出, 两地对于“热”的隶属程度均为最大, 说明两地均属于“热”。

2. 用基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法进行评价

假设谓词  $P$  表示“热”, 则  $\neg P$  表示“冷”,  $\sim P$  表示“温暖”。由上述, 可取  $\alpha_F + \varepsilon_F = 8, \alpha_T - \varepsilon_T = 28$ ; 为了更形象地描述天气的温暖程度, 引入  $+P$  表示“更热”, 引入  $\neg +P$  表示“更冷”。并定义温度大于  $30^\circ\text{C}$  为“更热”, 小于  $0^\circ\text{C}$  为“更冷”; 因此取  $\alpha_F - \varepsilon_F = 0, \alpha_T + \varepsilon_T = 30$ , 则  $h_T(A) = \{12/11, 12/11, 27/22, 1, 13/11, 23/22, 27/22\}, h_T(B) = \{23/22, 12/11, 12/11, 14/11, 15/11, 13/11, 14/11\}$ 。则 A 地对于  $P$  的平均真值程度为 1.123, B 地对于  $P$  的平均真值程度为 1.188; 由于 B 地与 A 地对于“热”的真值程度均大于 1, 说明 B 地与 A 地均属于“热”的范畴。另外, B 地温度对于“热”的真值程度大于 A 地气温对于“热”的真值程度, 说明 B 地比 A 地更“热”些。

与传统模糊综合评价方法相比, 基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法不仅可以计算出两地的气温隶属于哪一等级, 而且可以将两地“热”的程度做一个定量的比较, 因此其更加全面。

## 5.2 对煤矿的安全性的综合评价

煤矿的安全性评价中包含了一些模糊因素, 例如“安全管理水平”的“高”与“低”就是模糊的概念。下面用基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法对煤矿的安全性进行综合评价。

4 个煤矿安全性评价数据如表 1 所列<sup>[18]</sup>。

表 1 4 个煤矿的安全性评价数据

	A	B	C	D
气体平均排放量 $u_1(\text{m}^3/\text{h})$	10.5	5	13	11
排水率 $u_2(\%)$	65	70	45	60
气体超限次数 $u_3(/10 \text{ 万吨})$	0.2	0.1	0.19	0.26
气体累积次数 $u_4(/10 \text{ 万吨})$	0.18	0.12	0.21	0.19
气体突发次数 $u_5(/10 \text{ 万吨})$	0.0055	0.0045	0.01	0.014
空气的供需比率 $u_6(\%)$	88	86	83	82
安全管理水平得分 $u_7$	90	84	60	55
通风设备完好率 $u_8(\%)$	85	90	79	86
粉尘浓度 $u_9(\text{mg}/\text{m}^3)$	8.5	6.5	10	9
自然发火期 $u_{10}(\text{月})$	6	6.4	3.5	4

### 1. 确定初始评判矩阵

评判对象集  $V = \{A, B, C, D\}$  为 4 个煤矿, 评判因素集为  $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9, u_{10}\}$ 。由表 1 得初始评判矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} 10.5 & 65 & 0.2 & 0.18 & 0.0055 & 88 & 90 & 85 & 8.5 & 6 \\ 5 & 70 & 0.1 & 0.12 & 0.0045 & 86 & 84 & 90 & 6.5 & 6.4 \\ 13 & 45 & 0.19 & 0.21 & 0.01 & 83 & 60 & 79 & 10 & 3.5 \\ 11 & 60 & 0.26 & 0.19 & 0.014 & 82 & 55 & 86 & 9 & 4 \end{bmatrix}$$

### 2. 确定中介模糊评判矩阵

确定各指标类型。通过查阅文献资料, 确定  $u_1, u_3, u_4, u_5, u_9$  是成本型指标,  $u_2, u_6, u_7, u_8, u_{10}$  是效益型指标。这里选取方式 2 进行参数设置。中介模糊评判矩阵为:

$$R^T = \begin{bmatrix} 0.0455 & 1.0000 & -0.2917 & 0 \\ 1.0000 & 1.1250 & 0 & 0.8333 \\ 0 & 1.0000 & 0.0556 & -0.5500 \\ 0.0833 & 1.0000 & -0.2143 & 0 \\ 0.8889 & 1.0000 & 0 & -0.6364 \\ 1.3750 & 1.0000 & 0.1667 & 0 \\ 1.1207 & 1.0000 & 0.1042 & 0 \\ 0.9167 & 1.5000 & 0 & 1.0000 \\ 0.1250 & 1.0000 & -0.3000 & 0 \\ 1.0000 & 1.0800 & 0 & 0.1429 \end{bmatrix}$$

### 3. 确定权重系数

用层次分析法得到因素的权重  $w = \{0.1024, 0.0734, 0.1330, 0.0952, 0.1528, 0.0914, 0.0863, 0.0810, 0.1011, 0.0835\}$ 。

### 4. 确定综合评判集

综合评判集  $D = [0.6146 \ 1.0563 \ -0.0490 \ -0.0163]$ , 由此得到 4 个煤矿安全性排序为  $B > A > D > C$ 。

文献<sup>[18]</sup>中基于熵权法和逼近理想解排序法所得的综合评判集  $D = [0.6323 \ 0.8932 \ 0.1347 \ 0.2399]$ , 因此两种方法所得排序结果相同, 然而中介方法得出的结果更加具有差异性。这是因为中介数学打破了“0”、“1”真假二值限制, 将“超真”、“超假”和“过渡”的概念应用到了评价中, 理论上能把真值程度域从  $[0, 1]$  扩展到  $(-\infty, +\infty)$ <sup>[7]</sup>, 从而使评价结果能够更加明显地区分出各方案的好坏, 使评价结果更符合人们的要求。

### 5.3 多组数据实验结果与分析

选取 4 种权值设定方法, 对文献<sup>[18-26]</sup>中的 10 组数据用 3 种综合评价方法进行评价, 其误差如表 2 所列, 误差计算公式为

$$err = \frac{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\sum_{j=1}^{s_i} |x_{rij} - x_{aj}|}{s_i} \right)}{m} \quad (4)$$

其中,  $err$  表示平均误差(名次的绝对值),  $x_{rij}$  表示第  $i$  组数据第  $j$  个方案的实际排名,  $x_{aj}$  表示第  $i$  组数据第  $j$  个方案的文献排名,  $s_i$  表示第  $i$  组数据共有  $s_i$  个方案,  $m$  表示共有  $m$  组数据。

同时, 将按方式 1 进行参数设置的基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法记为中介方法 1, 按方式 2 进行参数设置的方法记为中介方法 2。

表 2 10 组数据的平均误差

	线性加权法	逼近理想解排序法	中介方法 1	中介方法 2
熵权法	0.812	0.851	0.826	0.704
变异系数法	0.971	1.174	0.973	0.966
层次分析法	1.13	0.851	1.135	1.013
组合赋权法	0.92	0.851	0.925	0.727

由表 2 可以看出:

(1)在实验过程中,可以发现当基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法按方式 1 设置时,它的结果与线性加权法的结果很接近。这是因为当  $\epsilon_j$  ( $1 \leq j \leq n$ ) 都为 0 时,计算真值程度函数就相当于线性加权法步骤中的将数据矩阵无量纲化。而  $\epsilon_j$  一般相对很小,所以对结果影响不大。

(2)当中介方法的参数设定不同时,它们的结果也有较为明显的区别。在本组实验中,中介方法 2 的误差比中介方法 1 的误差小,这是因为中介方法 2 考虑到中介理论中引入了“超态”的概念,使元素映射的数值区域覆盖图 1 所示的 5 种数值区域,从而使评价结果更具差异性和有效性,所以评价结果更加真实。

(3)不管使用何种权重值设定技术,中介方法 2 的误差都位于线性加权法和逼近理想解排序法的误差之间或比二者都小,这可以从一定程度上证明当参数这样设置时,中介方法具有一定的正确性和优越性。

**结束语** 本文首先提出了一种基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法,对不同类型指标下真值程度度量的过程和参数的取值方法进行了设计;其次对该方法的效果从理论上进行了分析,从数学基础和评判过程两个方面说明了该方法相对于模糊综合评价方法的优越性;最后在模糊和非模糊情况下进行了实例验证,并与相关文献中的结果进行了比较分析。实验表明,中介方法的误差位于线性加权法和逼近理想解排序法之间或者比二者都小,这说明了基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法是有效的,且具有一定的优越性。基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法相较于传统模糊综合评价方法,不仅具有更加坚实的数学基础,而且对于真值程度函数的定义更加具有客观性和普适性;另外,由于提出超态概念,理论上能把真值程度域从  $[0, 1]$  扩展到  $(-\infty, +\infty)$ ,使得评价结果更加具有差异性,也更加全面和符合实际。因此,对于待评价对象包含模糊的因素,并且评价指标间相互独立的多指标综合评价问题,基于中介真值程度度量的模糊综合评价方法提供了一种新的、更有效的解决方案。

## 参 考 文 献

[1] Li G, Qin H L. Discussion of comprehensive evaluation methods [J]. Energy Conservation, 2004 (10): 12-15 (in Chinese)  
李刚,秦红玲. 综合评价方法及探讨[J]. 节能, 2004 (10): 12-15

[2] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. Information and control, 1965, 8(3): 338-353

[3] Benitez J M, Martín J C, Román C. Using fuzzy number for measuring quality of service in the hotel industry[J]. Tourism management, 2007, 28(2): 544-555

[4] Wei X, Luo X, Li Q, et al. Online Comment-based Hotel Quality Automatic Assessment using Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation and Fuzzy Cognitive Map[J]. IEEE transactions on fuzzy systems, 2015, 23(1): 72-83

[5] Chen J F, Hsieh H N, Do Q H. Evaluating teaching performance based on fuzzy AHP and comprehensive evaluation approach [J]. Applied Soft Computing, 2015, 28: 100-108

[6] Zhang J, Li H, Liu Y, et al. The improvement and application of fuzzy comprehensive evaluation method under the hybrid information[C]//2013 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC). IEEE, 2013: 1612-1615

[7] Hong L, Xiao X A, Zhu W J. Measure of medium truth scale and its application (I) [J]. Chinese Journal of Computers, 2006, 29 (12): 2186-2194 (in Chinese)  
洪龙,肖溪安,朱梧楦. 中介真值程度的度量及其应用(I) [J]. 计算机学报, 2006, 29(12): 2186-2194

[8] Zhou N, Zhao Z, Hong L, et al. A new image edge detection algorithm based on measuring of medium truth scale[C]//IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, 2008 (ICNSC 2008). IEEE, 2008: 698-703

[9] Zhou N N, Hong L. A new evaluation method based on measure of medium truth degree[J]. Computer Technology and Development, 2012, 22(12): 123-126 (in Chinese)  
周宁宁,洪龙. 基于中介真值程度度量的评价方法[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(12): 123-126

[10] Wang X M, Zhang D Y. Call admission control method based on AHP and MMTD[J]. Computer Technology and Development, 2013, 23(8): 83-86 (in Chinese)  
王雪梅,张登银. 基于 AHP 和 MMTD 的呼叫接纳控制方法 AM-CAC[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(8): 83-86

[11] Zhang L Z, Pan Z H. Fuzzy comprehensive evaluation based on measure of medium truth scale[J]. Computer and Digital Engineering, 2009, 37(8): 67-71 (in Chinese)  
张丽珍,潘正华. 基于中介真值度量的模糊综合评判[J]. 计算机与数字工程, 2009, 37(8): 67-71

[12] Zhu W J, Xiao X A. Propositional calculus system of medium logic[J]. Nature, 1985, 8(4): 315-316 (in Chinese)  
朱梧楦,肖溪安. 中介逻辑的命题演算系统(1) [J]. 自然杂志, 1985, 8(4): 315-316

[13] Zhou N N, Hong L. Theoretical Study of image processing based on medium mathematics systems[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 2010, 30(3): 21-27 (in Chinese)  
周宁宁,洪龙. 基于中介真值程度度量处理图像的应用理论研究 [J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2010, 30(3): 21-27

[14] Zhu W J, Xiao X A. Foundations of classical mathematics and fuzzy mathematics[J]. Nature, 1984, 7(10): 723-726 (in Chinese)  
朱梧楦,肖溪安. 数学基础与模糊数学基础[J]. 自然杂志, 1984, 7(10): 723-726

[15] Hong L, Zhou N N. Survey of medium logics and medium axiom set theory[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 2008, 28(4): 87-94 (in Chinese)  
洪龙,周宁宁. 中介逻辑与中介公理集合论的综述[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2008, 28(4): 87-94

[16] Zhu W J, Xiao X A. Review of research situation about fuzzy mathematics foundation[J]. Nature, 1986, 9(1): 43-48 (in Chinese)  
朱梧楦,肖溪安. 关于模糊数学奠基问题研究情况的综述[J]. 自然杂志, 1986, 9(1): 43-48

[17] Hong L, Xiao X A, Zhu W J. Measure of medium truth scale and its application (II) [J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30 (9): 1551-1558 (in Chinese)  
洪龙,肖溪安,朱梧楦. 中介真值程度的度量及其应用(II) [J]. 计算机学报, 2007, 30(9): 1551-1558

- [18] Li X, Wang K, Liu L, et al. Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines[J]. *Procedia Engineering*, 2011, 26: 2085-2091
- [19] Liu W B. Research and realization of fuzzy synthetical evaluation system[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2003 (in Chinese)  
刘文彬. 模糊综合评价系统研究与实现[D]. 天津: 河北工业大学, 2003
- [20] Huang J H, Peng K H. Fuzzy Rasch model in TOPSIS: A new approach for generating fuzzy numbers to assess the competitiveness of the tourism industries in Asian countries [J]. *Tourism Management*, 2012, 33(2): 456-465
- [21] Li C Y, Sun J F, Hu D, et al. Application of IAHP and TOPSIS in the evaluation of heavy metal pollution[J]. *Chinese Journal of Health Statistics*, 2010, 27(2): 166-168 (in Chinese)  
李朝赞, 孙金芳, 胡丹, 等. 改进层次分析法和逼近理想解排序法结合在重金属污染评价中的应用[J]. *中国卫生统计*, 2010, 27(2): 166-168
- [22] Deng H, Yeh C H, Willis R J. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights[J]. *Computers & Operations Research*, 2000, 27(10): 963-973
- [23] Du Y. Research on the component quality model and evaluation method[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2011 (in Chinese)  
杜云. 构件质量模型的建立与评估方法研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011
- [24] Jia J, Fan Y, Guo X. The low carbon development (LCD) levels' evaluation of the world's 47 countries (areas) by combining the FAHP with the TOPSIS method[J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(7): 6628-6640
- [25] Bulgurcu B K. Application of TOPSIS Technique for Financial Performance Evaluation of Technology Firms in Istanbul Stock Exchange Market[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012, 62: 1033-1040
- [26] Zhang H, Gu C, Gu L, et al. The evaluation of tourism destination competitiveness by TOPSIS & information entropy — A case in the Yangtze River Delta of China[J]. *Tourism Management*, 2011, 32(2): 443-451

(上接第 182 页)

通过表 1 和表 2 可以得出以下结论: 本文提出的组签名方案可以正确地对签名者的身份和签名进行验证, 在通信次数方面优于方案 WL<sup>[9]</sup>, 在配对运算量方面优于方案 WL<sup>[9]</sup>和方案 LV<sup>[10]</sup>。

**结束语** 在解决传统组签名方案通信效率低、不能抵抗选择密文攻击等问题时, 周福才等提出了一个基于 BMW 模型的组签名方案 GSCOBG, 并提供了严格的安全性证明。然而对 GSCOBG 方案进行正确性分析后, 发现验证者并不能对签名者的合法身份和签名进行身份验证和签名验证。针对 GSCOBG 方案这一缺陷, 本文提出了一个改进方案, 通过增加对身份信息的承诺值和相应非交互式零知识证明, 解决了 GSCOBG 中的问题, 使得验证者能够验证签名者的身份, 从而使整个改进方案具有正确性, 并且满足安全性和高效性。但是改进方案也存在不足之处, 比如不满足不可连接性、不支持成员撤销等, 这需要在今后的工作中继续完善。

### 参 考 文 献

- [1] Chaum D, Van Heyst E. Group signatures[M] // *Advances in Cryptology-EUROCRYPT'91*. Springer Berlin Heidelberg, 1991: 257-265
- [2] Bellare M, Rogaway P. Random oracles are practical: A paradigm for designing efficient protocols[C] // *Proceedings of the 1st ACM Conference on Computer and Communications Security*. ACM, 1993: 62-73
- [3] Canetti R, Goldreich O, Halevi S. The random oracle methodology, revisited[J]. *Journal of the ACM (JACM)*, 2004, 51(4): 557-594
- [4] Bellare M, Micciancio D, Warinschi B. Foundations of group signatures: Formal definitions, simplified requirements, and a construction based on general assumptions [M] // *Advances in Cryptology-Eurocrypt 2003*. Springer Berlin Heidelberg, 2003: 614-629
- [5] Boyen X, Waters B. Full-domain subgroup hiding and constant-size group signatures [M] // *Public Key Cryptography-PKC 2007*. Springer Berlin Heidelberg, 2007: 1-15
- [6] Groth J, Ostrovsky R, Sahai A. Non-interactive zaps and new techniques for NIZK [M] // *Advances in Cryptology-CRYPTO 2006*. Springer Berlin Heidelberg, 2006: 97-111
- [7] Groth J. Fully anonymous group signatures without random oracles[M] // *Advances in Cryptology-ASIACRYPT 2007*. Springer Berlin Heidelberg, 2007: 164-180
- [8] Emura K, Hanaoka G, Sakai Y. Group signature implies PKE with non-interactive opening and threshold PKE [M] // *Advances in Information and Computer Security*. Springer Berlin Heidelberg, 2010: 181-198
- [9] Wei L, Liu J. Shorter verifier-local revocation group signature with backward unlinkability [M] // *Pairing-Based Cryptography-Pairing 2010*. Springer Berlin Heidelberg, 2010: 136-146
- [10] Libert B, Vergnaud D. Group signatures with verifier-local revocation and backward unlinkability in the standard model [M] // *Cryptology and Network Security*. Springer Berlin Heidelberg, 2009: 498-517
- [11] Groth J, Ostrovsky R, Sahai A. Perfect non-interactive zero knowledge for NP [M] // *Advances in Cryptology-EUROCRYPT 2006*. Springer Berlin Heidelberg, 2006: 339-358
- [12] Yang G, Tang S, Yang L. A novel group signature scheme based on mpkc [M] // *Information Security Practice and Experience*. Springer Berlin Heidelberg, 2011: 181-195
- [13] Zhou F C, Xu J, Wang L L, et al. A group signature in the composite order bilinear groups [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2012, 35(4): 654-663 (in Chinese)  
周福才, 徐剑, 王兰兰, 等. 基于组合阶双线性群的组签名方案 [J]. *计算机学报*, 2012, 35(4): 654-663
- [14] Lewko A, Waters B. New techniques for dual system encryption and fully secure HIBE with short ciphertexts [M] // *Theory of Cryptography*. Springer Berlin Heidelberg, 2010: 455-479
- [15] Groth J, Sahai A. Efficient non-interactive proof systems for bilinear groups [M] // *Advances in Cryptology-EUROCRYPT 2008*. Springer Berlin Heidelberg, 2008: 415-432