

文章编号:1003-207(2011)06-0133-08

混合多属性群决策中的群体一致性分析方法

燕 蜻¹, 梁吉业^{1,2}

(1. 山西大学管理学院, 山西 太原 030006; 2. 山西大学智能信息处理研究所, 山西 太原 030006)

摘要:本文针对一类属性值为精确实数、区间数和语言值的混合型多属性群决策问题,提出了一种群体一致性分析方法。在该方法中,计算群体一致度时,首先根据专家提供的评价信息在属性层面上计算专家之间的差异度,再由此得到群体一致度,计算过程中不需进行数据类型转换,避免了数据类型转换造成的信息损失;当群体不一致时,在属性层面上给出相应的调整策略,可以使专家有针对性地修改相应属性上的评价信息,使群体尽快达成一致,同时避免了专家评价信息的过度修改。最后通过一个实例分析验证了该方法的可行性和有效性。

关键词:群体一致性;群决策;混合多属性;集结

中图分类号:C934 **文献标识码:**A

1 引言

随着现代社会的发展,社会经济生活中的各类决策问题越来越复杂,这一方面导致了在决策时往往要考察问题的多个方面,从而促成了近年来多属性(准则)决策理论和方法的迅速发展^[1-6]。另一方面由于问题的复杂性,单个决策者作出决策越来越困难,为减少失误,很多重要决策都是由多个决策者(专家)共同参与制定的,因此近年来多属性群决策(multiple attribute group decision making, MAGDM)的理论和方法得到迅速的发展,已经成为决策科学中的一个重要研究领域。在多属性群决策问题中,专家需要给出每一个可选方案的各属性的评价信息。在实际决策问题中,由于问题的复杂性,许多决策问题既有定性属性,又有定量属性,再加上人类思维的模糊性和不确定性,专家给出的评价信息中往往包含精确实数、区间数、语言值、模糊数等多种类型,这种包含多种类型评价信息的多属性群决策问题称为混合型多属性群决策问题,对它的研究具有重要的理论意义和应用价值^[7,8]。

在群决策问题中,由于专家往往来自于不同领域,他们的知识结构、经验、对问题的了解程度、评判

水平、个人偏好不同,所以他们对同一方案(属性)的评价意见有时差别很大,因此群决策过程中一个很重要的步骤就是群体意见的一致性分析^[9]。通过对专家意见的一致性分析,可以确认群体中有哪些专家的意见与群体意见差别较大,从而修改或者剔除这些专家的评价意见,逐渐使群体的意见趋于一致,达成共识。不修改或剔除与群体意见差别较大的专家的评价意见就进行群体意见的集结,可能会得出不符合客观实际的结论^[9]。

针对群体一致性问题的研究,目前已取得了一些成果。文献^[9]研究了群决策中专家给出序关系、效用值、互补判断矩阵、互反判断矩阵四种形式的偏好信息时的群体一致性问题,提出了相应的群体一致性的分析方法,它将多种形式的偏好信息统一转换成一种形式;文献^[10-15]分别针对基于互反判断矩阵、互补判断矩阵及语言判断矩阵的群决策中的群体一致性问题进行了研究,提出了相应的群体一致性的分析方法;文献^[16-21]分别针对基于区间数决策矩阵、语言决策矩阵和实数决策矩阵的多属性群决策问题中的群体一致性问题进行了研究,其中文献^[16]研究了当专家给出的各属性的评价信息是区间数时的群体一致性问题,文献^[17-19]研究了专家给出的各属性的评价信息是语言值时的群体一致性问题,文献^[20,21]研究了专家给出的各属性的评价信息是精确实数时的群体一致性问题,这些文献中专家给出的评价信息大都是单一类型,而针对混合型多属性群决策问题的群体一致性的研究尚未见到。在混合型多属性群决策问题中,由于

收稿日期:2010-11-10;修订日期:2011-09-05

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(71031006);国家自然科学基金资助项目(70971080);山西省软科学资助项目(2010041023-01)

作者简介:燕蜻(1972-),女(汉族),山西交城人,山西大学管理学院,博士研究生,研究方向:决策理论与应用。

属性的评价信息包含多种数据类型,群体一致度的计算涉及到多类型数据的处理,所以现有的群体一致性分析方法不能有效地解决该类问题。本文正是在以上文献的基础上,针对一类混合型多属性群决策问题,提出一个群体一致性的分析方法。在计算群体一致度时,如果将多种类型的属性值都转换成同一种数据类型^[6,7],转换过程中难免存在信息损失和信息扭曲。在本文中,计算群体一致度时,首先在各个属性上计算专家评价信息的差异,再通过集结得到群体一致度,避免了数据类型转换造成的信息损失,使计算结果更为精确;当群体意见没有达成一致时,找出差异最大的两个专家及他们差异最大的属性,要求两个专家中与其他专家差异最大的专家根据给出的修正策略修改其在该属性上的评价信息,直到群体达成一致或达到最大修改次数为止。这样有针对性的要求专家修改评价信息,可以使专家群体尽快地达成一致,同时在修改信息的过程中也将对专家初始评价信息的修改尽量降到最少,从而尽可能地尊重专家的初始评价意见。该方法为混合型多属性群决策问题的群体一致性分析提供了一个新方法。

2 问题描述

设一个由 s 个专家组成的决策群体集 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_s\} (s \geq 2)$; 一个有限决策备选方案集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}, m \geq 2$; 一个有限属性集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, n \geq 2$ 对方案进行描述。专家 e_k 给出的评价矩阵为 $V^k = (v_{ij}^k)_{m \times n}, v_{ij}^k$ 表示 e_k 对方案 x_i 在属性 a_j 上做出的评价。在本文中,我们考虑评价信息包括精确实数、区间数和语言值三种在实际问题中比较常用的数据类型,设 A_1, A_2, A_3 分别表示属性值为精确实数、区间数、语言值的属性的集合,即 $A_1 \cup A_2 \cup A_3 = A$, 且 $A_i \cap A_j = \emptyset, i, j = 1, 2, 3, i \neq j$ 。当 $a_j \in A_1$ 时, v_{ij}^k 是精确实数; 当 $a_j \in A_2$ 时, v_{ij}^k 是区间数; 当 $a_j \in A_3$ 时, v_{ij}^k 是语言值。

在多属性群决策问题中,由于一般情况下专家不可能在一个具体的问题上给出完全相同的意见,因此群体一致并不要求专家的意见毫无差别完全一致,而是设定一个一致度阈值,只要专家意见的一致度大于等于这个阈值即认为群体意见一致^[22]。

3 群体一致性分析方法

设 $V^k = (v_{ij}^k)_{m \times n}$ 是专家 e_k 给出的评价矩阵, v_{ij}^k 表示专家 e_k 对方案 x_i 的属性 a_j 的评价,评价信息包

含了精确实数、区间数和语言值三种类型。

定义 1^[23] R^+ 表示大于等于零的实数,称闭区间为区间数 $a = [a^-, a^+]$, 其中 $a^-, a^+ \in R^+$, 且 $a^- \leq a^+, a^-, a^+$ 分别表示区间数的左、右端点。

本文研究的区间数不包括一个端点或两个端点取负值的区间数。

当专家用语言值来进行评价时,通常需要事先设定语言评估集,语言评估集由奇数个预先定义好的有序自然语言短语构成。设 $S = \{s_\alpha \mid \alpha = 0, \dots, r\}$ 是一个语言短语集合,其中 r 是正偶数,则 S 中语言短语的个数是 $r + 1$ 个, S 应具有以下性质^[24]:

- (1) 若 $\alpha > \beta$, 则 $s_\alpha > s_\beta$;
- (2) 存在负算子 $neg(s_\alpha) = s_\beta$, 其中 $\alpha + \beta = r$;
- (3) 极大化运算和极小化运算, 当 $s_\alpha > s_\beta$, 则 $\min(s_\alpha, s_\beta) = s_\beta, \max(s_\alpha, s_\beta) = s_\alpha$;

由以上三个性质易知一个语言短语集是一个离散有序的有限集合。

定义 2^[25] 设 $S = \{s_\alpha \mid \alpha = 0, \dots, r\}$ 为有序语言短语集, $s_i \in S$ 表示第 i 个语言短语, 则对应的下标 i 可由函数 I 得到: $I: S \rightarrow N, I(s_i) = i, s_i \in S$ 。

定义 3^[25] 设 $S = \{s_\alpha \mid \alpha = 0, \dots, r\}$ 为有序语言短语集, $s_i \in S$ 表示第 i 个语言短语, 则序数 i 所对应的有序语言短语的表示形式是通过下面的函数 I^{-1} 来得到:

$$I^{-1}: N \rightarrow S, I(i) = \begin{cases} s_0, & i \leq 0; \\ s_i, & 1 \leq i \leq r-1; \\ s_r, & i \geq r. \end{cases} \text{ 其中 } N$$

为整数集。

定义 4^[26] 设 $a = [a^-, a^+], b = [b^-, b^+]$ 是任意两个正区间数, 则 a, b 之间的距离

$$d(a, b) = \max(|a^- - b^-|, |a^+ - b^+|) \quad (1)$$

定义 5 设 $S = \{s_\alpha \mid \alpha = 0, \dots, r\}$ 为有序语言短语集, $a \in S, b \in S$, 则 a, b 之间的距离 $d(a, b) = |I(a) - I(b)|$ 。 (2)

3.1 一致度的计算

在多属性群决策问题中,群体一致度的计算方法一种是先根据专家给出的评价信息集结出一个临时的群体意见,然后计算专家个体的评价意见与临时的群体意见的差异,由此来得到群体一致度^[17,20];另一种方法是根据专家给出的评价信息集结出每一个专家对各方案的评价,然后计算任意一对专家之间的差异,由此来得到群体一致度^[21],这两种方法都需要先集结得到临时的群体意见或方案

的评价值,在此基础上计算群体一致度,不如直接根据专家的初始评价信息计算群体一致度结果更为精确。而且,由于在混合型多属性群决策问题中包含了多种类型的评价信息,在集结过程中目前通常是将所有评价信息转换成同一种类型,然后进行计算^[6,7],转换过程中难免存在信息损失、信息扭曲,会影响最后计算结果的精确性。在本文中,根据专家给出的评价信息直接计算每一对专家在各属性上的差异度,然后将所有属性上的差异度进行集结得到每一对专家之间的总差异度,由此得到群体一致度,这样一方面直接利用专家的初始评价信息进行计算,减少了计算偏差,另一方面可以不进行数据类型的转换,避免数据类型转换带来的信息损失,还可以为群体不一致时评价信息的调整提供依据。由于各属性度量单位不同、量纲不同、数量级不同,在进行群体意见一致性的分析时,需要集结专家在各个属性上评价的差异,因此在计算专家在各属性上的差异度时需要将相应的值规范化,消除各属性的量纲、单位、数量级和属性类型的差异。由于在计算群体一致度时只计算属性值的差异,不涉及属性值或方案的排序,因此不需考虑属性是成本型还是效益性。

计算群体一致度的主要步骤如下:

(1) 计算每个属性 a_j 上任意一对专家 e_t, e_k 之间的差异度 $d_j(e_t, e_k)$ 。

为了不影响最后计算结果的合理性,所有类型的数据统一用同样的计算公式计算差异度:

$$d_j(e_t, e_k) = \frac{1}{mT_j} \sum_{i=1}^m d(v_{ij}^t, v_{ij}^k), i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

其中 $d(v_{ij}^t, v_{ij}^k)$ 表示专家 e_t 与 e_k 在方案 x_i 的 a_j 属性上的差异。 m 是方案的个数, T_j 代表的是属性 a_j 上最大值和最小值的差。

当属性 a_j 的评价值是精确实数时, $d(v_{ij}^t, v_{ij}^k) = |v_{ij}^t - v_{ij}^k|, T_j = \max_j(v_{ij}^u) - \min_j(v_{ij}^u), i = 1, 2, \dots, m, u = 1, 2, \dots, s$ 。

当属性 a_j 的评价值是区间数时, $d(v_{ij}^t, v_{ij}^k)$ 用公式(1)计算, $T_j = \max_j(v_{ij}^{u+}) - \min_j(v_{ij}^{u-}), i = 1, 2, \dots, m, u = 1, 2, \dots, s$ 。

当属性 a_j 的评价值是语言值时, $d(v_{ij}^t, v_{ij}^k)$ 用公式(2)计算, $T_j = I(\max_j(v_{ij}^u)) - I(\min_j(v_{ij}^u)), i = 1, 2, \dots, m, u = 1, 2, \dots, s$ 。

显然, $d_j(e_t, e_k)$ 具有如下特性:

$$(1) 0 \leq d_j(e_t, e_k) \leq 1;$$

$$(2) d_j(e_t, e_k) = d_j(e_k, e_t);$$

$$(3) d_j(e_t, e_t) = 0.$$

(2) 计算任意一对专家 e_t 和 e_k 在全部属性上的差异度 $d(e_t, e_k)$ 。

$$d(e_t, e_k) = \sum_{j=1}^n \omega_j d_j(e_t, e_k) \quad (4), \text{其中 } \omega_j \text{ 是属性 } a_j \text{ 的权重, } n \text{ 是属性的个数。}$$

(3) 群体意见的一致度 δ 被定义为^[17]: $\delta = 1 - \max\{d(e_t, e_k) \mid e_t, e_k \in E\}$ (5)。

3.2 一致度水平的判断

在实际进行群决策时,群体一致的达成是一个反复讨论、修改评价信息的过程,但是由于时间、成本等因素,讨论次数应有限制,如果讨论次数已达到最大值,群体仍未达成一致,过程也应结束。因此除了设定一致度阈值 $\gamma, (0 \leq \gamma \leq 1)$ 外,还必须设定最大修改次数 mg , 若 $\delta \geq \gamma$, 则群体意见一致,一致化过程结束,进行群体意见的集结,得到决策结果;若 $\delta < \gamma$ 且当前讨论次数 $g < mg$, 则相应的专家修改其评价信息,开始下一轮一致度的计算;若 $\delta < \gamma$ 且 $g \geq mg$, 则一致化过程失败,群体未能达成一致。

3.3 评价信息的修改

当群体一致度没有达到预定的水平时,需要专家修改相应的评价信息。评价信息的修改应是在使群体能够尽快达成一致的前提下,尽可能的尊重专家的初始评价意见,尽可能少的修改专家的评价信息。专家评价信息的修改一种方法是设一个参数,建立一个迭代算法自动调整与群体差异度超过指定阈值的专家的评价信息^[20],这种方法快速,但是却不能准确的反映专家的意见,得出的决策结果有可能不符合实际情况;一种方法是不给出修改策略,要求与群体差异度最大的专家完全自主的修改评价信息^[19,21],这样可以充分反映专家的真实意见,但有时需要耗费大量的时间;另外一种方法就是计算专家个人意见与群体意见的邻近度,给出一个阈值,所有邻近度没有达到指定阈值的专家均需根据给定的修改策略修改相应的评价信息^[9],这种方法的缺陷是要求所有邻近度没有达到指定阈值的专家都修改相应的评价信息,有可能造成专家评价信息的过度修改,另外,在一定程度上也影响专家的自主评判。但是有针对性的修改评判意见可以使群体较快达成一致,节约决策成本。本文中,根据前面的计算结果首先找出差异度最大的两个专家及他们差异最大的属性,分别计算在该属性上两个专家与其余专家的

差异度之和,要求值大的专家根据给定的修改策略修改评价信息。若在修改完某一属性的值后,群体一致度已经达到指定阈值,则一致化过程结束,否则进行下一轮修改。这样充分利用前面的计算结果在属性层面上给出修改策略,有针对性的修改专家的评价信息,即可以较快的在群体间达成一致,又可以尽量减少专家初始评价信息的修改,尽可能的尊重专家的初始意见。

专家评价信息修改的步骤:

(1) 设 $d(e_p, e_q)$ 最大,即专家 e_p, e_q 的差异度最大,找出两个专家差异度最大的属性 a_i 。

(2) 分别计算这两个专家在该属性上与其他专家的差异度之和,值大的专家被要求修改其在该属性上的评价信息。

设 d_j^k 表示专家 e_k 在属性 a_j 上与其他所有专家的差异度之和,根据 3.1 中计算出的值 $d_j(e_t, e_k)$ 计算:

$$d_j^p = \sum_{i=1, i \neq p}^s d_j(e_i, e_p), \quad (6)$$

若 $d_j^p > d_j^q$, 则专家 e_q 修改其在属性 a_j 上的评价信息, 否则专家 e_p 修改相应的评价信息。

(3) 设 e_p 在属性 a_j 上的意见需要修改:

当属性 a_j 的评价是精确实数时, 比较 v_{ij}^k 和 $v_{ij}^p, k = 1, 2, \dots, s, k \neq p, i = 1, 2, \dots, m$ 的大小, 若 $v_{ij}^p = \max\{v_{ij}^k, k = 1, \dots, s\}$ 或 $v_{ij}^p = \min\{v_{ij}^k, k = 1, \dots, s\}$, 修改 v_{ij}^p , 令 $v_{ij}^p = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s v_{ij}^k$, 否则该值可以不做修改。

当属性 a_j 是区间数时, 比较 v_{ij}^{k-} 和 $v_{ij}^{p-}, k = 1, \dots, s, k \neq p, i = 1, 2, \dots, m$, 若 $v_{ij}^{p-} = \max\{v_{ij}^{k-}, k = 1, \dots, s\}$ 或 $v_{ij}^{p-} = \min\{v_{ij}^{k-}, k = 1, \dots, s\}$ 则修改 v_{ij}^{p-} , 令 $v_{ij}^{p-} = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s v_{ij}^{k-}$, 否则 v_{ij}^{p-} 可以不做修改, 对 v_{ij}^{p+} 同样处理。

当属性 a_j 是语言值时, 比较 $I(v_{ij}^k)$ 和 $I(v_{ij}^p), k = 1, \dots, s, k \neq p$, 若 $I(v_{ij}^p) = \max\{I(v_{ij}^k), k = 1, \dots, s\}$ 或 $I(v_{ij}^p) = \min\{I(v_{ij}^k), k = 1, \dots, s\}$, 则修改 v_{ij}^p , 令 $r = \text{round}(\frac{1}{s} \sum_{k=1}^s I(v_{ij}^k))$, $v_{ij}^p = I^{-1}(r)$, $\text{round}()$ 为普通的四舍五入函数; 否则该值可以不做修改。

综合以上分析, 群体一致性的分析方法包括以下步骤:

step1. 设一致度阈值 γ 、当前修改次数 g 和最大修改次数 mg 。

step2. 用公式(3)计算每个属性 a_j 上任意一对决策者 e_t, e_k 之间的差异度 $d_j(e_t, e_k)$ 。用公式(4)计算任意一对决策者 e_t 和 e_k 在全部属性上的差异度 $d(e_t, e_k)$ 。用公式(5)计算群体意见的一致度 δ 。

step3. 若 $\delta \geq \gamma$, 则群体意见一致, 转向 step7; 若 $\delta < \gamma$ 且 $g < mg$, 则转向下一步; 若 $\delta < \gamma$ 且 $g \geq mg$, 则转向 step7。

step4. 根据 step3 的计算结果找出差异最大的两个专家, 并找出他们之间差异最大的属性。

step5. 设专家 e_p, e_q 的总差异度最大, 且他们在属性 a_j 上差异度最大, 利用公式(6)分别计算在该属性上 e_p, e_q 和其余专家的差异, 值大的专家被要求根据给定的策略修改他在该属性上的评价信息。

step6. $g = g + 1$, 转向 step2, 进入下一轮循环。

step7. 结束。

在每一次专家修改意见后, 实际上只要重新计算修改意见的专家和其余专家之间的差异度即可, 没有修改意见的专家之间的差异度不变。

4 实例分析

供应商的选择是供应链建设和发展过程中一个十分重要环节。供应商的评估与选择是一个多因素的综合评价问题, 企业主要从产品品质、交货期、价格、技术能力、财务状况、历史绩效、服务等几方面对供应商进行评估, 而评估通常是要通过一些相关领域的专家来进行的, 所以供应商选择是一个典型的多属性群决策问题。

某大型制造业企业, 为了加强企业的供应链管理以提高企业的综合竞争力, 需要对几家供应商进行评估, 从中选出最合适的供应商做合作伙伴。企业综合考察供应商的质量保证体系、产品的稳定性、技术支持水平、企业发展能力等各方面。现有 4 家供应商 $X = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ 参与评估, 对每个供应商从 5 个方面进行评价, 即成本、质量、交货期、服务水平和未来的发展能力, 因此评价指标集设为 $A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$, 即 a_1 成本, a_2 质量, a_3 交货期, a_4 服务水平, a_5 未来的发展能力, 其中 a_1, a_3 是成本属性, 其余为效益属性, a_1 的评价值为精确实数, a_3 的评价值为区间数, 对 a_2, a_4, a_5 评价值为语言值, 采用语言短语集 $S = \{S_0 = \text{极差}, S_1 = \text{很差}, S_2 = \text{差}, S_3 = \text{中}, S_4 = \text{好}, S_5 = \text{很好}, S_6 = \text{极好}\}$ 。各个指标具有不同的物理意义和量纲, 为此公司聘请 5 个专家 $E = (e_1, e_2, e_3, e_4, e_5)$, 专家 e_k 给出的混合评

价矩阵 $V^k = (v_{ij}^k)_{m \times n}, k = 1, 2, 3, 4, 5$ [27]。

$$V^1 = \begin{bmatrix} 40 & \text{很好} & [94, 114] & \text{中} & \text{很好} \\ 50 & \text{中} & [84, 104] & \text{中} & \text{中} \\ 45 & \text{很好} & [100, 120] & \text{好} & \text{好} \\ 44 & \text{好} & [90, 110] & \text{中} & \text{中} \end{bmatrix}$$

$$V^2 = \begin{bmatrix} 36 & \text{好} & [95, 105] & \text{好} & \text{中} \\ 35 & \text{差} & [90, 110] & \text{中} & \text{中} \\ 45 & \text{好} & [85, 100] & \text{很好} & \text{好} \\ 40 & \text{很差} & [98, 112] & \text{中} & \text{好} \end{bmatrix}$$

$$V^3 = \begin{bmatrix} 41 & \text{好} & [90, 106] & \text{好} & \text{好} \\ 50 & \text{好} & [82, 95] & \text{中} & \text{中} \\ 42 & \text{很好} & [95, 105] & \text{很好} & \text{中} \\ 52 & \text{好} & [84, 103] & \text{好} & \text{好} \end{bmatrix}$$

$$V^4 = \begin{bmatrix} 42 & \text{中} & [110, 113] & \text{好} & \text{好} \\ 50 & \text{好} & [95, 110] & \text{中} & \text{中} \\ 40 & \text{好} & [90, 95] & \text{好} & \text{中} \\ 45 & \text{中} & [90, 110] & \text{中} & \text{中} \end{bmatrix}$$

$$V^5 = \begin{bmatrix} 49 & \text{好} & [91, 100] & \text{好} & \text{好} \\ 45 & \text{中} & [105, 120] & \text{中} & \text{差} \\ 45 & \text{很好} & [96, 105] & \text{很好} & \text{中} \\ 50 & \text{好} & [100, 110] & \text{中} & \text{差} \end{bmatrix}$$

第一轮循环如下:

step 1. 设一致度阈值为 $\gamma = 0.75$, 当前修改次数 $g = 0$, 最大修改次数 $mg = 5$ 。

step 2. 利用公式(3)计算每个属性 a_j 上任意一对决策者 e_t, e_k 之间的差异度 $d_j(e_t, e_k)$ 。

表 1 每个属性上任意一对专家之间的差异度

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
$d_j(e_1, e_2)$	0.338	0.375	0.283	0.25	0.25
$d_j(e_1, e_3)$	0.176	0.125	0.257	0.375	0.25
$d_j(e_1, e_4)$	0.118	0.313	0.342	0.125	0.167
$d_j(e_1, e_5)$	0.294	0.063	0.395	0.25	0.333
$d_j(e_2, e_3)$	0.515	0.375	0.289	0.125	0.167
$d_j(e_2, e_4)$	0.456	0.313	0.217	0.125	0.25
$d_j(e_2, e_5)$	0.485	0.313	0.217	0	0.417
$d_j(e_3, e_4)$	0.147	0.188	0.342	0.25	0.083
$d_j(e_3, e_5)$	0.265	0.063	0.316	0.125	0.25
$d_j(e_4, e_5)$	0.324	0.25	0.322	0.125	0.167

利用公式(4)计算任意一对专家 e_t 和 e_k 在全部属性上的总差异度 $d(e_t, e_k)$, 在该例中各属性权重

相同。

$$d(e_1, e_2) = 0.299, d(e_1, e_3) = 0.237, d(e_1, e_4) = 0.213, d(e_1, e_5) = 0.267, d(e_2, e_3) = 0.294, d(e_2, e_4) = 0.272, d(e_2, e_5) = 0.286, d(e_3, e_4) = 0.202, d(e_3, e_5) = 0.204, d(e_4, e_5) = 0.238$$

其中最大的是 $d(e_1, e_2) = 0.299$, 用公式(5)计算群体意见的一致度 $\delta: \delta = 1 - \max\{d(e_t, e_k) | e_t, e_k \in E\} = 1 - 0.299 = 0.701$ 。

Step3. 因为 $\delta < \gamma$, 且 $g < mg$, 所以执行 step4。

Step4. 由于专家 e_1, e_2 之间的差异度最大, 且他们在属性 a_2 上的差异最大。所以相应专家修改其在属性 a_2 上的值。

Step5. 在属性 a_2 上, 利用公式(6)分别计算 $d_2^1 = 0.501, d_2^2 = 1.001$, 很明显 $d_2^2 > d_2^1$, 专家 e_2 在属性 a_2 上的评价信息需要修改。根据修改规则, 需要适当增大 v_{22}^2, v_{42}^2 的评价值, 而 v_{12}^2, v_{32}^2 的评价值可以不做修改。即 $v_{22}^2 = s_3 = \text{“中”}, v_{42}^2 = s_3 = \text{“中”}$ 。

step6. $g = 1$, 转向 step2, 进入下一轮循环。

因为在每一次专家修改意见后, 实际上只要重新计算修改意见的专家和其余专家之间的差异度即可, 没有修改意见的专家之间的差异度不变。所以在第二轮循环中只要重新计算专家 e_2 与其余专家的差异度即可。

在第二轮循环中, 专家 e_1, e_5 之间的差异度最大, $d(e_1, e_5) = 0.267$, 群体一致度为 $\delta = 0.733 < \gamma$ 。且他们在属性 a_3 上的差异最大。在属性 a_3 上, $d_3^1 = 0.882, d_3^5 = 0.855, d_3^1 > d_3^5$ 。专家 e_1 在属性 a_3 上的评价信息需要修改。根据修改规则, 专家 e_1 需要适当降低 $v_{13}^1, v_{33}^1, v_{53}^1$ 的评价值, 而其他的评价值可以不做修改, 即 $v_{13}^1 = 108, v_{33}^1 = 93, v_{53}^1 = 105$ 。 $g = 2$, 转向 step2, 进入下一轮循环。

在第三轮循环中, 专家 e_2, e_3 之间的差异度最大, $d(e_2, e_3) = 0.257$, 群体一致度为 $\delta = 0.743 < \gamma$, 且他们在属性 a_1 上的差异最大。在属性 a_1 上, $d_1^2 = 1.279, d_1^3 = 0.588, d_1^2 > d_1^3$, 所以专家 e_2 在属性 a_1 上的评价信息需要修改。根据修改规则, 专家 e_2 需要适当增大 $v_{11}^2, v_{21}^2, v_{41}^2$ 的评价值, 而 v_{31}^2 的评价值可以不做修改, 即 $v_{11}^2 = 42, v_{21}^2 = 42, v_{41}^2 = 46$ 。 $g = 3$ 。转向 step2, 进入下一轮循环。

第四轮循环中, 专家 e_1, e_5 之间的差异度最大, $d(e_1, e_5) = 0.243$, 群体一致度为 $\delta = 0.757 > \gamma$, 此时群体达成一致。不需再修改其余属性的值。

从表 2 可以看出, 每一次修改意见后专家之间

的差异逐渐缩小,群体一致度逐渐增大,说明本文的方法是有效的。若利用上面的计算结果进一步计算整个调整过程开始前和整个调整过程结束后每一个专家与其他所有专家的差异度之和会发现,无论是调整前还是调整后专家 e_4 与其他专家的总差异度都是最小的,说明专家 e_4 的意见与其余专家的意见最为接近。

表 2 专家之间的差异度和群体一致度变化表

	修改前 (第一轮)	第 1 次修改后 (第二轮)	第 2 次修改后 (第三轮)	第 3 次修改后 (第四轮)
$d(e_1, e_2)$	0.299	0.262	0.238	0.206
$d(e_1, e_3)$	0.237	0.237	0.214	0.214
$d(e_1, e_4)$	0.213	0.213	0.193	0.193
$d(e_1, e_5)$	0.267	0.267	0.243	0.243
$d(e_2, e_3)$	0.294	0.257	0.257	0.200
$d(e_2, e_4)$	0.272	0.235	0.235	0.185
$d(e_2, e_5)$	0.286	0.249	0.249	0.193
$d(e_3, e_4)$	0.202	0.202	0.202	0.202
$d(e_3, e_5)$	0.204	0.204	0.204	0.204
$d(e_4, e_5)$	0.238	0.238	0.238	0.238
群体一致度	0.701	0.733	0.743	0.757

表 3 调整前后专家总差异度的变化表

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
调整前	1.041	1.176	0.937	0.925	0.995
调整后	0.871	0.814	0.825	0.813	0.877

群体一致性分析结束后,专家给出的新的评价矩阵:

$$V^k = (v_{ij}^k)_{m \times n}, k = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$V^{1'} = \begin{bmatrix} 40 & \text{很好} & [94, 108] & \text{中} & \text{很好} \\ 50 & \text{中} & [84, 104] & \text{中} & \text{中} \\ 45 & \text{很好} & [93, 105] & \text{好} & \text{好} \\ 44 & \text{好} & [90, 110] & \text{中} & \text{中} \end{bmatrix}$$

$$V^{2'} = \begin{bmatrix} 42 & \text{好} & [95, 105] & \text{好} & \text{中} \\ 42 & \text{中} & [90, 110] & \text{中} & \text{中} \\ 45 & \text{好} & [85, 100] & \text{很好} & \text{好} \\ 46 & \text{中} & [98, 112] & \text{中} & \text{好} \end{bmatrix}$$

$$V^{3'} = \begin{bmatrix} 41 & \text{好} & [90, 106] & \text{好} & \text{好} \\ 50 & \text{好} & [82, 95] & \text{中} & \text{中} \\ 42 & \text{很好} & [95, 105] & \text{很好} & \text{中} \\ 52 & \text{好} & [84, 103] & \text{好} & \text{好} \end{bmatrix}$$

$$V^{4'} = \begin{bmatrix} 42 & \text{中} & [110, 113] & \text{好} & \text{好} \\ 50 & \text{好} & [95, 110] & \text{中} & \text{中} \\ 40 & \text{好} & [90, 95] & \text{好} & \text{中} \\ 45 & \text{中} & [90, 110] & \text{中} & \text{中} \end{bmatrix}$$

$$V^{5'} = \begin{bmatrix} 49 & \text{好} & [91, 100] & \text{好} & \text{好} \\ 45 & \text{中} & [105, 120] & \text{中} & \text{差} \\ 45 & \text{很好} & [96, 105] & \text{很好} & \text{中} \\ 50 & \text{好} & [100, 110] & \text{中} & \text{差} \end{bmatrix}$$

当群体一致度达到指定阈值时,说明专家在对各方案的评价上已经取得共识,这时根据专家调整后的意见对供应商进行排序,利用改进的 TOPSIS 方法进行排序后的结果为 $x_3 > x_1 > x_4 > x_2$, 该结果所有专家都可接受,从中优先选择供应商 x_3 , 可以将此评估结果提交给该企业。

在激烈的全球竞争的环境下,该企业追求的是如何在最适当的时间、地点,以最低的成本,将高品质的产品和服务送到顾客手上。对制造业企业来说选择合适的供应商是非常重要的,通过长期的、有保证的订货合同可以保证满足采购的要求,减少不必要的对采购产品的检查,增强企业内外部的供应链协调性,提高了企业的竞争能力。选择合适的供应商,可以降低成本,提升产品的品质,使企业在供应链中获得较好的绩效。而供应商 x_3 在成本、质量、交货期、服务水平和未来的发展能力各项指标上都是比较好的,而综合所有指标考虑其在几个供应商中也是最好的,因此选择供应商 x_3 符合该企业追求的目标。这个结果说明在实际的混合型多属性群决策问题中,在用本文的方法进行群体一致性分析后,在专家群体就各方案的评价取得共识的情况下,对决策问题进行排序的结果是符合实际意义的。

5 结语

在已有的多属性群决策的群体一致性分析方法中,针对的都是单一数据类型的属性值,而混合型多属性群决策问题中,包含了多种数据类型的属性值,在群体一致性的分析中涉及多种数据类型数据的处理,因此已有的群体一致性的分析方法不能有效地解决这类问题。本文针对一类混合型多属性群决策问题中的群体一致性问题,给出了一个新的分析方法。在计算群体一致度时,在属性的层面上计算专家意见的差异度,由此得出群体一致度,避免了数据

类型转换而造成的信息损失;当群体意见不一致时,要求与其余专家差异最大的专家,在其与其他专家差异最大的属性上修改其评价信息,并给出具体的修改策略,避免了没有修改策略时,专家完全自主修改评价意见而造成的群体达成一致过慢的缺陷,使群体能够尽快达成一致,也避免了专家评价意见不必要的修改,尽可能的尊重了专家的初始评价意见。本文中考虑了三种实际问题中最常用的数据类型,在将来的研究中可以扩展其他数据类型如模糊数、语言模糊值等,数据(如区间值)之间距离的计算方法也可以进一步研究,使计算结果更精确、更合理,使计算方法更实用。

参考文献:

- [1] 徐玖平,吴巍. 多属性决策的理论与方法[M]. 清华大学出版社,2006.
- [2] Xu,Z. S. . An interactive procedure for linguistic multiple attribute decision making with incomplete weight information[J]. *Fuzzy Optimization Decision Making*, 2007, 6(1):17-27.
- [3] 王坚强,吴建文. 基于区间灰色不确定语言的多准则决策方法[J]. *中国管理科学*,2010,18(3):107-111.
- [4] Qian,Y. H. ,Liang,J. Y. ,Dang,C. Y. . Interval ordered information systems[J]. *Computers and Mathematics with Applications*,2008,56(8):1994-2009.
- [5] Qian,Y. H. , Dang,C. Y. , Liang,J. Y. , et al. Set-valued ordered information systems[J]. *Information Sciences*,2009,179(16) :2809-2832.
- [6] 梁昌勇,吴坚,陆文星,等. 一种新的混合型多属性决策方法及在供应商选择中的应用[J]. *中国管理科学*, 2006,14(6):71-77.
- [7] 梁昌勇,张恩桥,戚筱雯,等. 一种评价信息不完全的混合型多属性群决策方法[J]. *中国管理科学*, 2009,17(4):126-132.
- [8] Li,D. F. ,Huang,Z. G. ,Chen,G. H. . A systematic approach to heterogeneous multiattribute group decision making[J]. *Computers & Industrial Engineering*,2010, 59(4):561-572.
- [9] Herrera-Viedma, E. ,Herrera, F. ,Chiclana, F. . A consensus model for multiperson decision making with different preference structures[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part A Systems and Humans*,2002,32(3):394-402.
- [10] Herrera, F. , Herrera-Viedma, E. , Verdegay, J. L. . A model of consensus in group decision making under linguistic assessments [J] . *Fuzzy Sets and Systems*, 1996,78(1):73-87.
- [11] Herrera, F. , Herrera-Viedma, E. , Verdegay, J. L. . A rational consensus model in group decision making using linguistic assessments[J]. *Fuzzy Sets and Systems*,1997,88(1):31-49.
- [12] Cabrerizo, F. J. , Alonso, S. , Herrera-Viedma, E. . A consensus model for group decision making problems with unbalanced fuzzy linguistic information[J]. *International Journal of Information Technology and Decision Making*,2009,8 (1):109-131.
- [13] Herrera-Viedma, E. ,Martinez, L. ,Mata, F. ,Chiclana, F. . A consensus support system model for group decision-making problems with multigranular linguistic preference relations[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*,2005,13(5):644-658.
- [14] Herrera-Viedma, E. , Alonso, S. , Chiclana, F. , Herrera F. . A consensus model for group decision making with incomplete fuzzy preference relations[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*,2007,15 (5):863-877.
- [15] Szmjdt, E. , Kacprzyk, J. . A consensus-reaching process under intuitionistic fuzzy preference relations [J]. *International Journal of Intelligent Systems*,2003, 18(7):837-852.
- [16] 陈侠,樊治平. 关于区间数决策矩阵的专家群体判断共识性研究[J]. *运筹与管理*,2008,17(1):1-6.
- [17] Parreiras, R. O. , Ekel, P. Ya. , Martini, J. S. C. , Palhares, R. M. A flexible consensus scheme for multicriteria group decision making under linguistic assessments[J]. *Information Sciences*,2010,180(7):1075-1089.
- [18] Bordogna, G. , Fedrizzi, M. , Pasi, G. . A linguistic modeling of consensus in group decision making based on OWA operators[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 1997,27 (1):126-133.
- [19] Fu, C. , Yang, S. L. . The group consensus based evidential reasoning approach for multiple attributive group decision analysis[J]. *European Journal of Operational Research*,2010,206(3) : 601-608.
- [20] Xu,Z. S. . An automatic approach to reaching consensus in multiple attribute group decision making [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, 56 (4) : 1369-1374.
- [21] Eklund, P. , Rusinowska, A. , Swart, De H. . Consensus reaching in committees[J]. *European Journal of Operational Research*,2007,178(1):185-193.
- [22] Kacprzyk, J. , Fedrizzi, M. . A "soft" measure of consensus in the setting of partial (fuzzy) preferences [J]. *European Journal of Operational Research*, 1988, 34 (3):316-325.
- [23] Moore, R. E. . Method and application of interval analysis[M]. London:Prentice-Hall,1979.
- [24] Herrera, F. , Herrera-Viedma, E. . Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under lin-

guistic information[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 115(1): 67-82.

[25] 陈岩, 樊治平. 语言判断矩阵的一致性及相关问题的研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2004, (4): 136-141.

[26] Zhang, J. J., Wu, D. S., Olson, D. L.. The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers[J]. *Mathematical and Computer Modeling*, 2005, (42): 991-998.

[27] 吴坚. 基于 OWA 算子理论的混合型多属性群决策研究[D]. 合肥: 合肥工业大学博士论文, 2008.

A Method for Consensus Analysis in Hybrid Multiple Attribute Group Decision Making

YAN Qin¹, LIANG Ji-ye^{1,2}

(1. School of Management Shanxi University, Taiyuan 030006, China;

2. Institute of Intelligent Information Processing Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: An approach of consensus analysis among group opinions is proposed considering the problem of hybrid multiple attribute group decision making which involves real numbers, interval numbers and linguistic assessments. In calculating the degree of group consensus, the proposed approach obtains the degree of group consensus by spotting the difference of any pair of experts according to their evaluation information with respect to each attribute. In the process of calculating, data type does not need any conversion, which, in turn, secures no information losses. When the group is not in consensus, a feedback mechanism is developed on the attribute level to prompt the experts to revise the evaluation information of relevant attribute, thus to reach the group consensus. Experts target revising the relevant attribute of evaluation information making the group agree each other as soon as possible. At the same time, excessive modification of evaluation information can be avoided. Finally, an example is given to illustrate the feasibility and validity of the proposed method.

Key words: consensus; group decision making; hybrid multiple attribute; aggregation