

考虑决策者可靠性自判的语言群决策方法

马珍珍^{1†}, 朱建军¹, 王翥华², 张世涛^{1,3}

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 211106; 2. 金陵科技学院 商学院,
南京 211169; 3. 安徽工业大学 数理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘要: 研究带有决策者判断可靠性的语言信息群决策问题. 针对以语言变量表示的决策者意见自判可靠性, 构建基于语言信息灰度的可靠性测度方法, 提出依据群体一致性、语言信息灰度和先验信息的专家综合权重确定方法. 基于信息集结后的语言信息灰度, 计算并分析决策可靠度, 提出考虑语言信息灰度的排序算法. 通过算例表明了所提出方法的有效性.

关键词: 群决策; 可靠性自判; 语言变量; 语言信息灰度; 可靠度

中图分类号: C934

文献标志码: A

Linguistic group decision-making method considering decision makers' reliability of self-selection

MA Zhen-zhen^{1†}, ZHU Jian-jun¹, WANG He-hua², ZHANG Shi-tao^{1,3}

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China; 2. School of Business, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China; 3. School of Mathematics & Physics Science, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract: A linguistic group decision-making problem with the judgement reliability of decision makers is studied. To the problem on the reliability of self-selection which is expressed in terms of linguistic variables, a method to measure reliability based on the linguistic information degree of greyness is constructed. According to the indicators of group consensus, the linguistic information degree of greyness and prior subjective information, a method to calculate comprehensive weights of experts is proposed. On the basis of the linguistic information degree of greyness of information aggregation, the method of measuring and analyzing the reliability of decision-making is established. Then the sorting algorithm considering the linguistic information degree of greyness is proposed as well. A numerical example is given to illustrate the effectiveness of the proposed method.

Keywords: group decision-making; reliability of self-selection; linguistic variable; linguistic information degree of greyness; degree of reliability

0 引言

由于单个决策者对复杂信息和复杂问题的认知难以满足科学决策的需求,使得群体决策得到了广泛关注^[1]. 基于决策者自身知识的局限性和决策信息的非完整性,在决策过程中往往难以给出精确的定量评判,在一定程度上反而更适宜运用语言变量形式进行评判^[2]. 目前,基于语言变量形式的研究多集中于聚类^[3]、信息挖掘^[4]、信息推理^[5]、案例学习^[6]、不完全

语言偏好^[7]、不完全权重信息^[8-9]、多阶段决策^[10]、异构语言信息^[11]. 在复杂决策过程中,决策者由于自身认知水平和信息掌握的差异,给出的信息判断可靠性并不是完全相同,这种判断可靠性的差异对决策结果的影响较大,如何表征该判断可靠性差异并合理处理是值得研究的问题. 在信息评判可靠性研究方面,文献[12-13]利用信息一致率表征决策结果的可靠性,仅涉及对主要影响因素敏感性结果的可靠性分析. 决

收稿日期: 2015-12-30; 修回日期: 2016-03-08.

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(14AZD049); 国家自然科学基金项目(71171112, 71502073); 教育部人文社科青年基金项目(14YJC630120); 江苏省普通高校学术学位研究生项目(KYZZ15_0094); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(NS2014086); 广义虚拟经济研究专项项目(GX2013-1017(M)).

作者简介: 马珍珍(1988—),女,博士生,从事复杂决策理论与方法的研究; 朱建军(1976—),男,教授,博士生导师,从事决策理论与方法、复杂系统建模、智能算法等研究.

†通讯作者. E-mail: zhenzhen5886@163.com

策问题中对决策者评价信息的可靠性评判,根本上是对其信息依据充分性的评判,判断决策可靠性需要体现信息依据程度.文献[14-15]提出了基于二维语言评价信息的决策方法,一维是针对决策对象给出的评价信息,另一维是针对对象评价信息可靠性的主观评价.在确定判断可靠性时,文献[14]需要事先确定隶属度,过于主观;文献[15]在衡量评判可靠性时,借助语言标度进行量化,造成一定程度语言信息的缺失.

群体决策问题的关键是将多个决策者的信息进行集结,而在集结过程中决策者权重的合理确定尤为关键.有关决策者权重的研究方法很多,文献[7-8]采用专家主观的方法确定权重,文献[10]运用orness测度模型计算专家权重,文献[11]以群体意见相似性确定专家权重,文献[16-17]通过专家给出的区间语言信息计算可靠性以确定决策权重,属于客观定权方法,可能会出现与专家实际重要程度不符的情况.在实际决策过程中,由于主客观因素的限制(如偏好、规避敏感问题等),只有决策者自身最清楚所给决策信息的把握程度,决策者对信息的自我可靠性判断,在很大程度上影响决策者权重的设定.

基于上述考虑,本文提出了考虑语言信息灰度的可靠性自判决策模型,以信息灰度表征评价信息的不确定程度.通过专家以自我判断的形式提供其信息掌握情况,并构建语言信息灰度的测算方法,在此基础上基于专家一致性、信息可靠性和先验主观权重考虑计算专家综合权重,针对集结结果计算其可靠度,

以判断决策结果的可靠性.针对具有不确定性信息的集结结果,通过定义相对优区间,计算此区间的相对隶属度,进行两两比较以寻求合理排序结果.最后通过算例表明了所提出方法的有效性.

1 问题描述

设决策对象集合为 $H = \{h_1, h_2, \dots, h_m\}$, 决策属性集合为 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, 决策专家集合为 $E = \{e^1, e^2, \dots, e^l\}$, 专家 $e^k (k = 1, 2, \dots, l)$ 针对对象 $h_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 的属性 $c_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 给出语言向量 $r_{ij}^k = (s_{ij}^k, w_j^k, s'_{ij}^k)$. 其中: $s_{ij}^k \in S$ 表征各专家给出的等级评价语言变量; $w_j^k \in W$ 表征各专家给出的属性权重语言变量; $s'_{ij}^k \in S'$ 表征专家信息量掌握的自判可靠性的语言变量,见表1.就一般语言类决策过程而言,语言信息 s_{ij}^k 和 w_j^k 是必要的决策信息.与通常方法相比,本文提出利用 s'_{ij}^k 测度专家评价信息的可靠性.在复杂决策过程中,决策者无法准确把握所有的决策参数皆具有较好的应用价值,在实际运用过程中,由专家根据自身对决策信息的掌握程度给出^[14].这种方法具有如下特点: 1) 专家可以根据实际需要,从既定语言标签中选择适当的数值表征 s'_{ij}^k , 操作较为方便; 2) 若专家认为所给信息可靠性普遍较高,则可以忽略 s'_{ij}^k , 是本文方法的特例; 3) 若专家认为基于某属性下的方案评价信息可靠性无显著差异,则可以简化成信息 s_j^k 的形式,本文方法同样适用,见图1.

表1 含有自判可靠性变量的语言决策矩阵

属性	专家 e^1			...	专家 e^l		
	c_1	...	c_n		c_1	...	c_n
h_1	$(s_{11}^1, w_1^1, s'_{11}^1)$	...	$(s_{1n}^1, w_n^1, s'_{1n}^1)$	...	$(s_{11}^l, w_1^l, s'_{11}^l)$	...	$(s_{1n}^l, w_n^l, s'_{1n}^l)$
...
h_m	$(s_{m1}^1, w_1^1, s'_{m1}^1)$	...	$(s_{mn}^1, w_n^1, s'_{mn}^1)$	...	$(s_{m1}^l, w_1^l, s'_{m1}^l)$	...	$(s_{mn}^l, w_n^l, s'_{mn}^l)$

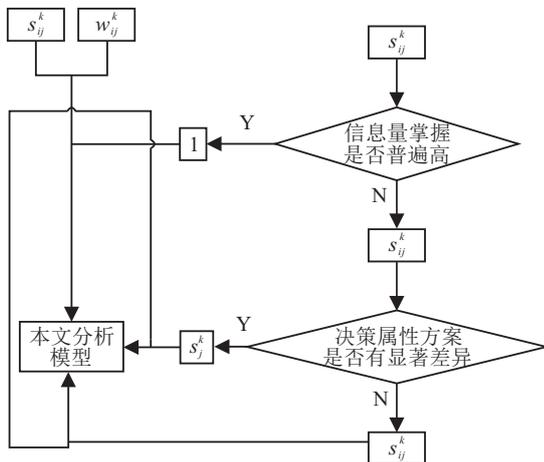


图1 本文决策信息分析流程

针对复杂群决策模型,基于决策者提供的评价信息给出决策结果,具体信息的可靠性至关重要,是判断决策有效性的一个标准.例如,针对某商用飞机供应商选择,有3家供应商(e_1, e_2, e_3)参与竞争, R 表示供应商等级评价价值, δ 表征其对应的可靠性,3家供应商的信息具体见图2.按照传统方法评价,只考虑对象等级评价价值,供应商最优都可以考虑,见图2(a).但结合信息可靠性情况,此决策结果面临较大的风险,可能导致决策失误.作为理性决策者,应综合考虑 R 和 δ 两类信息.现有方法针对信息可靠性一般主观给定^[14],而且根据 R 进行选择, δ 并未参与真正排序中,见图2(b).本文主要解决的问题是充分挖掘专家信息,

基于对象评价信息和可靠性判断信息进行有效集结, 对决策对象进行合理排序, 见图2(c).

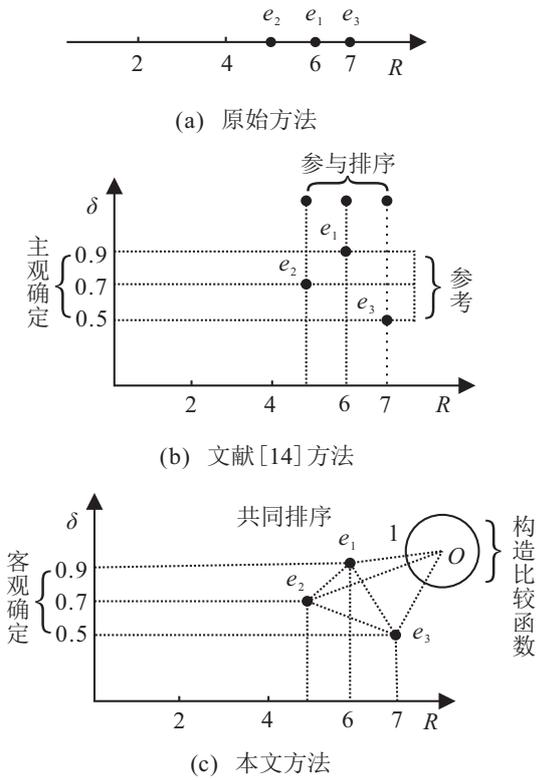


图2 现有决策思路的演变

2 主要模型和方法

针对考虑语言评价信息判断可靠性的多属性群决策问题, 本文利用熵模型确定语言信息灰度区间, 进而确定各区间对应的语言信息灰度. 综合考虑专家一致性、信息可靠性和先验主观权重计算专家综合权重, 通过信息集结结果及其可靠度, 比较可靠度与临界可靠度的大小进行信息调整. 针对集结结果的不确定信息, 提出新的排序算法.

2.1 可靠性自判的语言信息灰度确定

设反映决策者信息掌握情况的自然语言术语集为 $S' = \{s'_1, s'_2, \dots, s'_t\}$, 其中 $s'_1 \succ s'_2 \succ \dots \succ s'_t$, t 为基数. 根据文献[18], 灰度可以表示信息的不确定程度, 信息量越多, 灰度越低, 反之, 灰度越高, 因此, 灰度可以理解对决策者信息量的反向度量. 在此基础上, 给出语言变量的信息灰度定义方式, 用量化的数值方式测定决策者判断的可靠性数值大小.

定义1 设 $S' = \{s'_1, s'_2, \dots, s'_t\}$ 是表征决策者信息量的一个预先定义好的自然语言术语集, $\{[\alpha_0, \alpha_1), [\alpha_1, \alpha_2), \dots, [\alpha_{t-1}, \alpha_t]\}$ 是对应 S' 各语言变量反向度量的区间形式, 称 $v_k = (\alpha_{k-1} + \alpha_k)/2 (k = 1, 2, \dots, t)$ 是对应 S' 各语言变量的语言信息灰度. 其中: $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{t-1}, \alpha_t$ 为各区间分割点, $\alpha_0 = 0, \alpha_t = 1, 0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_{t-1} < 1$. 得到 $v_k \in$

$[0, 1]$.

语言信息灰度反映了决策者对决策对象认识的不确定程度, 决策者对该对象掌握的信息量越多, 其语言信息灰度越低; 反之, 语言信息灰度越高. 根据定义1, 确定语言信息灰度的关键是确定其各区间的分割点. 为了避免各区间长度分布过于不均, 或者相邻分割点极度接近, 可限定各区间长度的大致范围. 设最大值为 τ_h , 最小值为 τ_l , 具体根据专家经验和实际情况而定, 通常可以根据区间均匀分布情况下各分割点的上下波动范围进行调整. 由此, 各区间分割点取值范围为 $\tau_l < \alpha_1 < \tau_h, \tau_l < \alpha_2 - \alpha_1 < \tau_h, \dots, \tau_l < 1 - \alpha_{t-1} < \tau_h$.

信息的作用是消除人们对事物了解的不确定性, 因此在确定分割点时尽量保证信息充分利用, 以减少不确定性. 考虑到熵^[19-20]是对系统状态不确定性的一种度量, 熵权法兼顾了决策信息的客观信息, 其基本思想是在掌握信息分布未知的部分知识时, 通常应选取符合其信息负熵值最大的概率分布以最大化降低信息的不确定性, 数学表达式为

$$\max S(q) = - \sum_{k=1}^t q_k \ln q_k; \quad \text{s.t.} \quad \sum_{k=1}^t q_k = 1.$$

此处区间分割点概率具体分布未知, 但取值范围可知, 确定分割点的实质是如何利用部分已知、部分未知的有限信息将信息不确定性降到最低. 根据熵权法的思想, 确定各区间分割点, 可使所确定的语言信息灰度体现的信息不确定性得到最大化降低. 根据信息熵的定义, 记

$$q_k = \frac{v_k}{t} = \frac{\alpha_{k-1} + \alpha_k}{\sum_{i=1}^t v_i} = \frac{\alpha_{k-1} + \alpha_k}{\sum_{i=1}^t (\alpha_{i-1} + \alpha_i)}, \quad (1)$$

其中 $q_k (k = 1, 2, \dots, t)$ 是对 $v_k (k = 1, 2, \dots, t)$ 的归一化处理, 以满足信息熵的定义, 有 $0 < q_1 < q_2 < q_3 < \dots < q_t < 1$, 且 $\sum_{k=1}^t q_k = 1$. 得到

$$- \sum_{k=1}^t q_k \ln q_k = - \sum_{k=1}^t \left[\frac{\alpha_{k-1} + \alpha_k}{\sum_{i=1}^t (\alpha_{i-1} + \alpha_i)} \ln \left(\frac{\alpha_{k-1} + \alpha_k}{\sum_{i=1}^t (\alpha_{i-1} + \alpha_i)} \right) \right].$$

由此得到信息熵模型 (M_1) 为

$$\max \left\{ - \sum_{k=1}^t \left[\frac{\alpha_{k-1} + \alpha_k}{\sum_{i=1}^t (\alpha_{i-1} + \alpha_i)} \ln \left(\frac{\alpha_{k-1} + \alpha_k}{\sum_{i=1}^t (\alpha_{i-1} + \alpha_i)} \right) \right] \right\};$$

$$\text{s.t. } \sum_{k=1}^t \frac{\alpha_{k-1} + \alpha_k}{\sum_{i=1}^t (\alpha_{i-1} + \alpha_i)} = 1, \quad (2)$$

$$\tau_l \leq \alpha_1 \leq \tau_h, \quad (3)$$

$$\tau_l \leq \alpha_2 - \alpha_1 \leq \tau_h, \quad (4)$$

⋮

$$\tau_l \leq 1 - \alpha_{t-1} \leq \tau_h, \quad (5)$$

$$\alpha_0 = 0, \alpha_t = 1, \quad (6)$$

$$0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_{t-1} < 1. \quad (7)$$

模型中,式(2)~(5)表示各区间长度的取值范围,式(6)和(7)表示各区间分割点的取值范围.

定理1 题干中若存在有界可行域,则必有最优解.

证明 模型为单目标规划问题,由约束条件可以看出, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{t-1}$ 存在且有界,结合目标函数,模型可行域存在且有界,根据最优解存在定理^[21](任意可行域有界的单目标规划一定可以在其可行域上达到最优),模型存在最优解. □

至此,可以确定各区间分割点 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{t-1}$,进而确定各区间所对应的语言信息灰度值 $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_t$.图3为具体求解示意图,反馈箭头表示信息熵模型求出的是 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{t-1}$ 的解.

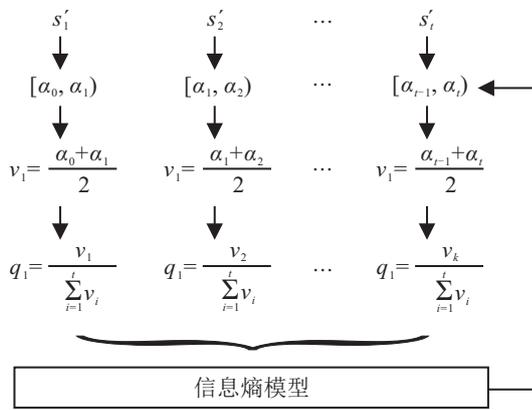


图3 语义信息灰度求解

2.2 考虑语言信息灰度的专家权重确定

决策者针对对象给出的等级评价信息和属性权重语言信息与判断可靠性信息根源不同,后者体现决策者自身信息状况,在决策过程中尽量提取信息最大化,与熵内涵一致,前者是不同决策者针对同一对象作出评判,需真实体现其原始信息,对此,本文采用简便的符号转移方法^[22]进行语言处理,并未对决策对象原始信息做较大调整,以减少决策过程信息丢失.

设等级评价语言集 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_g\}$, $s_1 < s_2 < \dots < s_g$ (g 为基数),对应的区间形式分别为 $\{[0.5,$

$1.5), [1.5, 2.5), \dots, [g-0.5, g+0.5)\}$.属性权重语言集 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{g'}\}$, $w_1 < w_2 < \dots < w_{g'}$ (g' 为基数),对应的区间形式为 $\{[0.5, 1.5), [1.5, 2.5), \dots, [g'-0.5, g'+0.5)\}$.一般情况下取各区间两分割点的平均数表征区间数,则两者对应的数值形式为

$$\eta_{t'} = ((t' + 0.5) + (t' - 0.5))/2 = t', \quad (8)$$

$$\lambda_{t''} = ((t'' + 0.5) + (t'' - 0.5))/2 = t'', \quad (9)$$

定义2 针对初始语言信息 $r_{ij}^k = (\eta_{ij}^k, w_j^k, \nu_{ij}^k)$,称 $\hat{r}_j^k = (\eta_{ij}^k, \lambda_j^k, \nu_{ij}^k)$ 为对应的数值组合形式.其中: η_{ij}^k 为等级评价语言变量值,由式(8)获得; λ_j^k 为属性权重语言变量值,由式(9)获得; ν_{ij}^k 为语言信息灰度,由模型 M_1 获得.

定义3 针对属性权重语言变量值 $\lambda_j^k, \tilde{w}_j^k$ 是其对应的归一化处理值, $\tilde{w}_j^k = \lambda_j^k / \sum_{j=1}^n \lambda_j^k$,称 \tilde{w}_j^k 为属性权重测度,其中 $0 \leq \tilde{w}_j^k \leq 1, \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j^k = 1$.

专家 e^k 针对决策对象 i 的信息集结值为 $\hat{r}_i^k = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j^k \eta_{ij}^k$,集结结果语言信息灰度为 $v_i^k = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j^k \nu_{ij}^k$, $k = 1, 2, \dots, l, i = 1, 2, \dots, m$.

对于多位专家,由于自身知识、经验等各方面的差异决定了其对决策影响的重要性有所不同,因此,在对信息进行集结时,权重也不尽相同.由于多属性群体决策需要进行综合、全面的评价,评价指标涉及领域广泛,若只是事先给出专家权重而忽略群体一致性和语言信息灰度性指标涉及的影响效果,可能导致决策结果具有较大的主观随意性.在群决策中,群体意见是否达成一致是值得关注的问题,直接影响信息集结结果的可靠性^[23].个体意见与群体意见的偏离程度越大,表明其对达成群体一致性的阻力越大,客观上认为在群决策过程中的权重越小.因此,根据个体意见与群体意见的距离可以衡量各专家在群体决策中的权重.

定义4 设专家 e^k 与其他专家的距离为 d^k ,有

$$d^k = \frac{1}{2} \left(\sum_{t=1, t \neq k}^l \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |\eta_{ij}^k - \eta_{ij}^t| + \sum_{t=1, t \neq k}^l \sum_{j=1}^n |\lambda_j^k - \lambda_j^t| \right), \quad (10)$$

$$k = 1, 2, \dots, l.$$

其中: $w^{kc} = \frac{1}{d^k} / \sum_{k=1}^l \frac{1}{d^k}$ 为专家 e^k 的一致性权重,

$$0 \leq w^k c \leq 1, \text{ 且 } \sum_{k=1}^l w^k c = 1.$$

专家一致权重根据专家意见计算而得,未考虑专家自身对信息的实际掌握情况.语言信息灰度代表决策者对指标信息的掌握程度或给出意见信息的不确定程度,专家给出的语言信息所对应的语言信息灰度越小,表明该专家对决策属性越熟悉,从而给出此信息的可靠性越大,其权重也应越大;反之,表明该专家给出此决策信息越模糊,其权重也应设小.因此,本文利用专家给出的意见所对应的语言信息灰度进行权重调整.

定义5 设 v_{ij}^k 为语言变量 r_{ij}^k 相应的语言信息灰度,称 $v^k = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n v_{ij}^k$ 为专家 $e^k (k = 1, 2, \dots, l)$ 所对应的平均语言信息灰度.

v^k 越大,表明专家 e^k 所给信息的可靠性越低,其决策权重也越低.

定义6 针对专家 e^k 的语言信息灰度 v^k ,称 $w^{kf} = \frac{1}{v^k} / \sum_{k=1}^l \frac{1}{v^k}$ 为专家 e^k 的信息权重,其中 $0 \leq w^{kf} \leq 1, \sum_{k=1}^l w^{kf} = 1$.

定义7 设事先给出专家 $e^k (k = 1, 2, \dots, l)$ 的主观权重为 $w^{k1} (k = 1, 2, \dots, l)$, 其中 $0 \leq w^{k1} \leq 1$ 且 $\sum_{k=1}^l w^{k1} = 1$. 称 $w^{kh} = \hat{\alpha}w^{k1} + \hat{\beta}w^{kc} + \hat{\gamma}w^{kf}$ 为专家 $e^k (k = 1, 2, \dots, l)$ 的综合权重.

可见, $0 \leq \hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma} \leq 1, \hat{\alpha} + \hat{\beta} + \hat{\gamma} = 1$. $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}$ 表示权重的侧重系数,具体由决策者根据实际情况而定,若无特殊偏好,取 $\hat{\alpha} = \hat{\beta} = \hat{\gamma} = 1/3, \sum_{k=1}^l w^{kh} = 1$.

2.3 考虑语义信息灰度的集结和排序算法

根据上述计算所得的专家 e^k 对于决策对象 i 的信息集结值 $\hat{r}_i^k (\hat{r}_i^k = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j^k \eta_{ij}^k)$ 、对应集结结果语言信息灰度 $v_i^k (v_i^k = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j^k \nu_{ij}^k)$ 和各专家的综合权重 w^{kh} , 计算各决策对象的最终集结结果,即

$$\hat{R} = \left[\sum_{k=1}^l (w^{kh} \times \hat{r}_i^k), \sum_{k=1}^l (w^{kh} \times v_i^k) \right]_m = \left[\sum_{k=1}^l (w^{kh} \times \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j^k \eta_{ij}^k), \sum_{k=1}^l (w^{kh} \times \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j^k \nu_{ij}^k) \right]_m. \quad (11)$$

定义8 设 \tilde{v}_i 为对象 i 信息集结结果对应的语言信息灰度,以 $\delta_i = (1 - \tilde{v}_i) \times 100\%$ 表征集结结果的可靠

性,称 δ_i 为对象 i 信息集结结果的可靠度.

语言信息灰度表征专家对决策对象信息量的掌握程度,信息掌握量越大,语言信息灰度越小,从而给出的决策信息可靠度越大;反之,语言信息灰度越大,给出的决策信息的可靠度越小.根据最终信息集结结果计算对象的集结结果可靠度为

$$\delta_i = \left[1 - \sum_{k=1}^l (w^{kh} \times \sum_{j=1}^n \hat{w}_j^k \nu_{ij}^k) \right] \times 100\%.$$

临界值 δ 一般取 $\delta > 0.5$. 若 $\delta_i \leq \delta$, 则认为对象 i 的集结结果可信度过低,要求专家调整意见信息;若 $\delta_i > \delta$, 则对决策对象进行排序.

本文将语言信息进行集结计算后,出现了等级评价和语言信息灰度双重信息值,如何集结两信息值得出合理排序成为难点.对此,本文提出了新的排序方法,构造数值在整个区间分布的隶属度函数,通过两两比较各决策对象在相对优区间的隶属度进行排序,并且通过设定临界可靠度,使最终参加排序的对象均满足可靠度要求.

定义9 设定等级评价值论域 $[0.5, g]$, 决策对象 i 和对象 j 的等级评价值分别为 b_i, b_j , 设 $b_i < b_j$, 称 $[b_i, g]$ 为决策对象 i 和 j 比较的相对优区间.

为了便于介绍,将信息集结结果 \hat{R}_i 简化为 $\hat{R}_i = (b_i, \hat{v}_i)$, 则 $\delta_i = (1 - \hat{v}_i) \times 100\%$ 表示对象 i 的等级信息集结结果为 b_i , 其对应的可靠度为 δ_i . 根据隶属度定义, δ_i 可以看作决策对象 i 集结结果为 b_i 的隶属度.

针对决策对象 i 和对象 j , 一般存在9种比较情况: 1) $b_i < b_j, \delta_i < \delta_j$; 2) $b_i > b_j, \delta_i > \delta_j$; 3) $b_i > b_j, \delta_i < \delta_j$; 4) $b_i < b_j, \delta_i > \delta_j$; 5) $b_i < b_j, \delta_i = \delta_j$; 6) $b_i > b_j, \delta_i = \delta_j$; 7) $b_i = b_j, \delta_i > \delta_j$; 8) $b_i = b_j, \delta_i < \delta_j$; 9) $b_i = b_j, \delta_i = \delta_j$.

可见, 1)、5)或8)的情况,有 $i < j$; 2)、6)或7)的情况,有 $i > j$; 9)的情况,有 $i \leftrightarrow j$; 3)、4)两种情况,无法直接比较大小,对此提出以下比较算法.

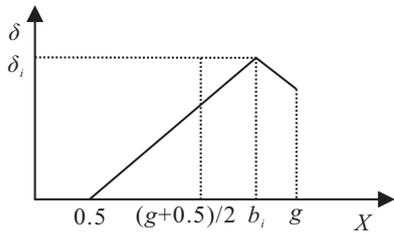
设决策对象 i 的等级评价信息集结值为 $x, x = b_i$ 的隶属度为 $\delta_i (\delta_i > 0.5)$, 则 x 在区间 $[0.5, g]$ 内取除 b_i 外其他值的隶属度为 $1 - \delta_i$. 对于区间 $[0.5, g], x = b_i$ 的隶属度最大,取其他值的具体隶属度不可知,可以认为以 $x = b_i$ 为对称轴,越趋向 b_i 的数值其隶属度越大.由此构造隶属度函数,具体存在3种情况,见图4.

设决策对象 i 和对象 j 对应的隶属度函数为 $f_i(x), f_j(x)$, 针对 $b_i < b_j, \delta_i > \delta_j$ 的情况,对比 i, j 的优劣顺序可以通过比较两者在相对优区间 (b_i, g) 的相对隶属度大小实现,即比较 $F_{ii}(x)$ 和 $F_{ji}(x)$, 有

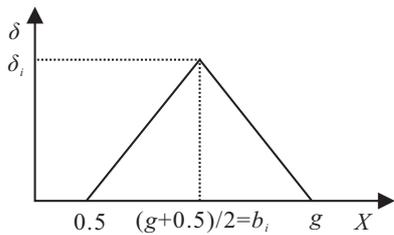
$$F_{ii}(x) = \int_{b_i}^g f_i(x)dx, F_{ji}(x) = \int_{b_i}^g f_j(x)dx.$$

定理2 若存在 b_i, b_j , 且 $b_i < b_j$, 则 $F_{ii}(x), F_{ji}(x)$ 可通过下式获得:

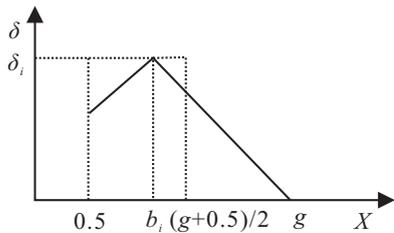
$$\begin{aligned} F_{ii}(x) &= \delta_i(g - b_i)/2, \\ F_{ji}(x) &= \frac{\delta_j(g^2 - 2b_jg - b_i^2 + 4b_ib_j - 2b_j^2)}{2(g - b_j)}, \\ b_i &< b_j < (g + 0.5)/2; \\ F_{ii}(x) &= \delta_i(g - b_i)/2, \\ F_{ji}(x) &= \frac{\delta_j(g^2 - 2b_jg + 2b_j^2 - b_j - b_i^2 + b_i)}{2(g - b_j)}, \\ b_i &< b_j = (g + 0.5)/2; \\ F_{ii}(x) &= \delta_i(g - b_i)/2, \\ F_{ji}(x) &= \frac{\delta_j(4b_jg - g - g^2 - 2b_j^2 - b_i^2 + b_i)}{2(b_j - 0.5)}, \\ b_i &\leq (g + 0.5)/2 < b_j; \\ F_{ii}(x) &= \frac{\delta_i(4b_i g - g - g^2 - 3b_i^2 + b_i)}{2(b_i + 0.5)}, \\ F_{ji}(x) &= \frac{\delta_j(4b_j g - g - g^2 - 2b_j^2 - b_i^2 + b_i)}{2(b_j - 0.5)}, \\ (g + 0.5)/2 &< b_i < b_j. \end{aligned} \tag{12}$$



(a) $b_i > (g + 0.5) / 2$



(b) $b_i = (g + 0.5) / 2$



(c) $b_i < (g + 0.5) / 2$

图4 隶属度函数

证明 针对定理2, 相对优区间为 $[b_i, g]$, 对于 $b_i < (g + 0.5)/2$, 根据本文构造的隶属度函数 $F_{ii}(x) =$

$\int_{b_i}^g \frac{\delta_i(g - x)}{g - b_i} dx$, 有

$$\begin{aligned} F_{ii}(x) &= \delta_i \left[\frac{gx}{g - b_i} \Big|_{b_i}^g - \frac{x^2}{2(g - b_i)} \Big|_{b_i}^g \right] = \\ &= \delta_i \left[\frac{g}{g - b_i}(g - b_i) - \frac{g^2 - b_i^2}{2(g - b_i)} \right] = \frac{\delta_i(g - b_i)}{2}; \end{aligned}$$

对于 $b_j < (g + 0.5)/2$ 且 $b_j > b_i$, 有

$$F_{ji}(x) = \int_{b_i}^{b_j} \left[\frac{\delta_j(x - b_j)}{g - b_j} + \delta_j \right] dx + \int_{b_j}^g \frac{\delta_j(g - x)}{g - b_j} dx,$$

进而有

$$\begin{aligned} F_{ji}(x) &= \delta_j \left[\frac{x^2}{2(g - b_j)} + \frac{(g - 2b_j)x}{g - b_j} \right] \Big|_{b_i}^{b_j} + \\ &= \delta_j \left[\frac{gx}{g - b_j} - \frac{x^2}{2(g - b_j)} \right] \Big|_{b_i}^{b_j} = \\ &= \delta_j \left[\frac{b_j^2 - b_i^2}{2(g - b_j)} + \frac{(g - 2b_j)(b_j - b_i)}{g - b_j} \right] + \\ &= \delta_j \left[\frac{g(g - b_j)}{g - b_j} - \frac{g^2 - b_j^2}{2(g - b_j)} \right] = \\ &= \frac{\delta_j(g^2 - 2b_jg - b_i^2 + 4b_ib_j - 2b_j^2)}{2(g - b_j)}. \end{aligned}$$

同理可证, $b_i < b_j = (g + 0.5)/2, b_i \leq (g + 0.5)/2 < b_j, (g + 0.5)/2 < b_i < b_j$ 的情况. \square

根据定理2, 若 $F_{ii} > F_{ji}(x)$, 则 $i > j$; 若 $F_{ii}(x) = F_{ji}(x)$, 则 $i \Leftrightarrow j$; 若 $F_{ii}(x) < F_{ji}(x)$, 则 $i < j$. 同理可比较其他情况下决策对象 i 和 j 的优劣顺序, 对各决策对象按照上述方法进行两两比较, 得到各决策对象的排序结果. 具体决策步骤如下.

Step 1: 根据专家提供的语言信息 $r_{ij}^k = (s_{ij}^k, w_j^k, s'_{ij}^k)$, 基于熵模型确定语言信息灰度区间分割点和对应的语言信息灰度.

Step 2: 将信息 $r_{ij}^k = (s_{ij}^k, w_j^k, s'_{ij}^k)$ 按照所提出方法转化为数值形式 $\hat{r}_{ij}^k = (\eta_{ij}^k, \lambda_j^k, \nu_{ij}^k)$, 从而计算专家一致权重 w^{kc} 、信息权重 w^{kf} , 结合主观权重 w^{k1} 计算其调和权重 w^{kh} .

Step 3: 综合计算各对象的集结结果 $\tilde{R}_i = (\tilde{r}_i, \tilde{\nu}_i)$, 由 $\delta_i = (1 - \tilde{\nu}_i) \times 100\%$ 得出集结结果可靠度, 设定临界可靠度 δ . 若 $\delta_i < \delta$, 则认为对象 i 的集结结果可信度过低, 要求专家调整意见信息; 若 $\delta_i > \delta$, 则对决策对象进行排序.

Step 4: 按照所提出方法构造隶属度函数, 通过计算相对优区间内的相对隶属度, 对决策对象进行两两比较, 得出最终排序结果进行决策.

在复杂决策过程中, 往往涉及较多的定性指标和定量指标, 本文利用语言变量统一表征定性和定量指标, 主要基于以下两个原因: 1) 实际问题的复杂性导致难以准确地用定量数据测度; 2) 在一些处理过程中, 常将定量的数据转化成语言等级处理, 这样更具

有实际的对比性和可理解性.

3 算例分析

大型客机制造业是一个国家综合水平的集中体现,该产业的发展对国防安全、经济增长、民航运输业提升等方面都具有举足轻重的作用,因此国家对其大型客机的研制特别重视.对于大型客机,其生产过程主要表现为“主制造商-供应商”生产模式,主制造商是客机的生产组织者,供应商是其重要的合作伙伴,参与研制重要领域,对飞机研制成功起着决定性的作用,因此大型客机供应商质量管理环节至关重要.针对某商用飞机研制过程中的供应商质量管理流程绩效评价问题,考虑到流程本身和流程评价信息的复杂性,应用所提出方法,对提供某标准件的3家供应商($h_i, i = 1, 2, 3$)质量管理流程进行绩效评价.通过对该商用飞机公司进行调研,在评价过程中,邀请3位国内资深专家(e_1, e_2, e_3)根据3家供应商的质量管理流程实际情况进行评价,假设3个专家的初始权重相同.根据业内专家经验和行业特殊标准,选定16项指标,具体见表2.

表2 评价指标体系

指标	内涵解释
质量政策	作为供应商质量管理行为的主要指南,起稳定剂的作用
质量流程文档	将供应商质量管理流程文档化,用来储备积累的知识、描绘质量管理流程和程序
质量管理计划	针对供应商质量管理所专项规定的质量管理方法以及其活动顺序的文件
质量审计	一项独立的质量流程审查活动,确保供应商质量管理执行过程符合主制造商有关质量管理定义的方针政策
质量沟通	与供应商在质量上存在双向沟通,以提高信息传递的准确性、有效性
流程实施与控制 纠错行动	供应商质量管理流程的实施方法和控制手段对供应商质量管理流程中双方产生的错误给予指出并改正
质量持续改进	指攻克供应商质量管理流程中重复发生的问题,对个别流程进行优化
质量文件和 记录控制	对供应商质量管理相关文件和记录实施有效控制
关键质量特 性控制	对主要决定和影响产品质量的相关质量特性进行有效管理和控制
质量培训	参与供应商质量管理相关人员在质量技能方面进行专业的培训
质量管理成本	指对供应商质量整个流程管理所消耗的费用
产品准时交货率	供应商在一定时间内准时交货的次数占其总交货次数的百分比
产品合格率	供应商提供的产品中合格品数量占订货总数量的百分比
供应商售后 服务质量	供应商将产品交给主制造商后为其提供的一系列服务的情况

对客机制造行业的制造商和供应商而言,这是一个不断创新、创造的过程,导致供应商在产品、服务及其质量管理流程上的表现具有不确定性^[25].为便于定性指标和定量指标的统一处理,文中涉及的16项指标皆以语言形式给出,具体见表3.

表3 专家语言表达形式

指标	表 示
等级评价语言集	$S = \{s_1 = \text{很差}, s_2 = \text{差}, s_3 = \text{较差}, s_4 = \text{一般}, s_5 = \text{较好}, s_6 = \text{好}, s_7 = \text{很好}\}$
指标权重语言集	$W = \{w_1 = \text{很不重要}, w_2 = \text{不重要}, w_3 = \text{较不重要}, w_4 = \text{一般}, w_5 = \text{较重要}, w_6 = \text{重要}, w_7 = \text{很重要}\}$
信息量语言集	$S' = \{s'_1 = \text{很充分}, s'_2 = \text{比较充分}, s'_3 = \text{一般}, s'_4 = \text{比较贫乏}, s'_5 = \text{很贫乏}\}$

设专家给出的各供应商质量管理流程在各指标对应的语言向量 $R^k(k = 1, 2, 3)$ 分别如下:

$$R^1 = [(s_6, w_6, s'_1), (s_7, w_7, s'_1), (s_5, w_6, s'_2), (s_6, w_6, s'_2), (s_4, w_5, s'_1), (s_6, w_6, s'_2), (s_6, w_7, s'_1), (s_7, w_7, s'_1), (s_5, w_6, s'_4), (s_6, w_6, s'_1), (s_6, w_6, s'_3), (s_6, w_5, s'_4), (s_5, w_6, s'_2), (s_4, w_6, s'_1), (s_7, w_7, s'_2), (s_6, w_5, s'_3); (s_5, w_6, s'_1), (s_6, w_7, s'_2), (s_6, w_6, s'_2), (s_6, w_6, s'_1), (s_5, w_5, s'_1), (s_6, w_6, s'_3), (s_6, w_7, s'_2), (s_7, w_7, s'_1), (s_6, w_6, s'_3), (s_7, w_6, s'_1), (s_5, w_6, s'_3), (s_6, w_5, s'_4), (s_4, w_6, s'_3), (s_5, w_6, s'_1), (s_6, w_7, s'_1), (s_6, w_5, s'_3); (s_6, w_6, s'_1), (s_6, w_7, s'_2), (s_5, w_6, s'_2), (s_6, w_6, s'_2), (s_6, w_5, s'_1), (s_6, w_6, s'_2), (s_6, w_7, s'_1), (s_7, w_7, s'_2), (s_6, w_6, s'_3), (s_6, w_6, s'_2), (s_5, w_6, s'_4), (s_6, w_5, s'_4), (s_5, w_6, s'_3), (s_6, w_6, s'_1), (s_7, w_7, s'_1), (s_6, w_5, s'_2)];$$

$$R^2 = [(s_5, w_5, s'_1), (s_6, w_7, s'_1), (s_5, w_6, s'_1), (s_4, w_6, s'_2), (s_6, w_6, s'_1), (s_4, w_6, s'_2), (s_6, w_6, s'_1), (s_4, w_6, s'_1), (s_4, w_6, s'_2), (s_5, w_6, s'_1), (s_4, w_6, s'_3), (s_5, w_6, s'_3), (s_5, w_6, s'_2), (s_6, w_7, s'_1), (s_5, w_7, s'_1), (s_5, w_6, s'_2); (s_4, w_5, s'_1), (s_6, w_7, s'_2), (s_4, w_6, s'_1), (s_4, w_6, s'_2), (s_6, w_6, s'_1), (s_5, w_6, s'_2), (s_5, w_6, s'_1), (s_4, w_6, s'_1), (s_5, w_6, s'_2), (s_5, w_6, s'_2), (s_5, w_6, s'_2), (s_5, w_6, s'_3), (s_4, w_6, s'_1), (s_5, w_7, s'_2), (s_6, w_7, s'_1), (s_4, w_6, s'_3); (s_6, w_5, s'_1), (s_7, w_7, s'_1), (s_5, w_6, s'_1), (s_6, w_6, s'_1),$$

$$\begin{aligned}
 & (s_6, w_6, s'_1), (s_7, w_6, s'_2), (s_6, w_6, s'_1), (s_5, w_6, s'_1), \\
 & (s_6, w_6, s'_2), (s_5, w_6, s'_1), (s_6, w_6, s'_3), (s_5, w_6, s'_4), \\
 & (s_5, w_6, s'_1), (s_6, w_7, s'_1), (s_6, w_7, s'_1), (s_5, w_6, s'_2)]; \\
 R^3 = & [(s_5, w_6, s'_1), (s_6, w_6, s'_1), (s_6, w_5, s'_1), (s_4, w_6, s'_2), \\
 & (s_5, w_5, s'_1), (s_4, w_6, s'_1), (s_6, w_7, s'_1), (s_4, w_6, s'_1), \\
 & (s_4, w_6, s'_1), (s_5, w_6, s'_1), (s_5, w_6, s'_2), (s_6, w_6, s'_2), \\
 & (s_6, w_6, s'_2), (s_5, w_7, s'_1), (s_5, w_7, s'_2), (s_5, w_5, s'_1); \\
 & (s_6, w_6, s'_1), (s_6, w_6, s'_2), (s_5, w_5, s'_2), (s_5, w_6, s'_2), \\
 & (s_4, w_5, s'_1), (s_3, w_6, s'_2), (s_5, w_7, s'_1), (s_3, w_6, s'_1), \\
 & (s_4, w_6, s'_2), (s_4, w_6, s'_1), (s_5, w_6, s'_2), (s_5, w_6, s'_4), \\
 & (s_4, w_6, s'_2), (s_4, w_7, s'_1), (s_6, w_7, s'_2), (s_5, w_5, s'_1); \\
 & (s_6, w_6, s'_1), (s_6, w_6, s'_1), (s_5, w_5, s'_1), (s_6, w_6, s'_1), \\
 & (s_6, w_5, s'_1), (s_5, w_6, s'_1), (s_6, w_7, s'_1), (s_5, w_6, s'_1), \\
 & (s_6, w_6, s'_2), (s_6, w_6, s'_1), (s_6, w_6, s'_1), (s_5, w_6, s'_2), \\
 & (s_6, w_6, s'_1), (s_5, w_7, s'_3), (s_6, w_7, s'_1), (s_5, w_5, s'_1)].
 \end{aligned}$$

3.1 结果计算

首先,确定语言信息灰度区间分割点.为了避免区间分布过于不均,以区间均匀分布时区间长度为依据,区间长度临界值可以根据其上下波动进行设定, $\tau_h = 0.3, \tau_l = 0.1$. 根据所提出方法计算得 $\alpha_1 = 0.3, \alpha_2 = 0.5, \alpha_3 = 0.6, \alpha_4 = 0.7$, 各区间信息灰度为 $\nu_1 = 0.15, \nu_2 = 0.4, \nu_3 = 0.55, \nu_4 = 0.65, \nu_5 = 0.85$. 结果表明,本文确定的信息灰度区间中间集中、两边分散,区间信息分布合理,这是由于本文利用熵模型在保证信息不确定性最低的同时,通过一定约束条件使得区间合理分布.

其次,确定各专家信息对应的语言数值形式 $\hat{r}_{ij}^k = (\eta_{ij}^k, \lambda_j^k, \nu_{ij}^k)$, 一般情况下无特殊要求,取 $\hat{\alpha} = \hat{\beta} = \hat{\gamma} = 1/3$. 根据所提出方法,计算各专家对应的一致性权重为 $w^{1c} = 0.29, w^{2c} = 0.35, w^{3c} = 0.36$. 专家对应的信息权重为 $w^{1f} = 0.27, w^{2f} = 0.34, w^{3f} = 0.39$. 专家对应的综合权重为 $w^{1h} = 0.27, w^{2h} = 0.34, w^{3h} = 0.39$, 表明专家一致性权重和信息权重对集结结果有所影响.

再次,根据 $\hat{r}_{ij}^k = (\eta_{ij}^k, \lambda_j^k, \nu_{ij}^k)$, 计算各属性权重 \hat{w}_j^k , 进一步计算各供应商的质量管理流程绩效为 $\hat{R}_1 = (4.73, 0.25), \hat{R}_2 = (4.98, 0.315), \hat{R}_3 = (6.27, 0.3)$. 对应的可靠度分别为 $\delta_1 = 74.97\%, \delta_1 = 68.54\%, \delta_3 = 70.08\%$. 设定临界值 $\delta = 0.65$, 均满足 $\delta_1 > \delta$, 进行排序.

最后,按照所提出的排序方法,具体计算结果为:1) h_1 与 $h_2, F_{11} = 1.246, F_{21} = 1.241$, 则 $h_2 < h_1$; 2) h_2 与 $h_3, F_{22} = 1.073, F_{32} = 1.284$, 则 $h_2 < h_3$; 3) h_1 与 $h_3, F_{11} = 1.246, F_{31} = 1.417$, 则 $h_1 < h_3$. 针对 h_2, h_3 , 对于等级评价, $\hat{r}_2 < \hat{r}_3$, 对于信息灰度, $\nu_2 > \nu_3$, 可以直接得出 $h_2 < h_3$, 同时可以验证本文排序算法的有效性.

结果表明,3家供应商的质量管理流程综合排序为 $h_2 < h_1 < h_3$, 最佳质量管理流程为供应商 h_3 . 依据等级评价集结结果, 供应商 h_1 和供应商 h_2 的质量管理流程处于“较好”的等级, 供应商 h_3 的质量管理流程处于“好”的等级, 此时排序为 $h_1 < h_2 < h_3$. 但若不考虑语言信息灰度对排序结果的影响, 则会造成专家信息的损失, 因此需要综合两者进行排序. 根据专家所给信息, 可以看出: 供应商在“质量管理计划”、“纠错行动”、“质量持续改进”、“关键质量特性控制”、“产品准时交货率”和“产品合格率”方面都具有较为明显的优势, 这些属性所对应的权重多数大于平均权重, 表明这些指标对于各供应商的质量管理流程绩效影响较大, 制造商在实际管理中应予以重视. 对于大型客机行业, 尤其针对客机关键系统, 其供应商质量要求至关重要, 稍有差错损失惨重, 在针对此类供应商质量流程进行评价时, 对决策结果可靠性相较于一般供应商要求要高许多. 根据所提出方法, 主制造商可以根据每个专家决策结果的可靠性进行调整, 有助于选择信息可靠性较高的决策, 从而承担更小的风险成本. 相对而言, 根据本文所提出方法获得的决策结果更符合实际情况, 且有助于主制造商协调决策信息, 风险承担相对较小.

为了便于(更直观地描述各对象评价信息和判断可靠性对决策结果的影响)分析, 省略 s'_{ij} 变化过程, 直接分析由于 s'_{ij} 变化(固定 s^k_{ij} 和 w^k_j) 而计算出的不同 δ_i 引起的关系. s'_{ij} 与 δ_i 的关系为

$$\delta_i = \left[1 - \sum_{k=1}^l \left(w^{kh} \times \sum_{j=1}^n \hat{w}_j^k \nu_{ij}^k \right) \right] \times 100\%,$$

由定义6和定义7, 无论 s'_{ij} 如何变化, δ_i 的数值都处于 $0 \sim 1$ 之间. 不同 δ 和 r 对相对隶属度的影响如图5所示. 在此基础上, 结合供应商 h_1, h_2 进行讨论: 1) 图5(a)中, F 表示相对隶属度, δ 表示决策结果判断可靠度. 对于 F_{11} 和 F_{21} , 固定两对象等级集结值 h_1 和可靠度 δ_1 , 改变 δ_2 可以影响 F_{21} 的大小, F_{11} 和 F_{21} 的交点表示两供应商处于同等位置. 对于 F'_{11} 和 F'_{21} , 固定两对象等级集结值 h_2 和可靠度 δ_2 , 改变 δ_1 可以影响 F'_{11} 的大小, 同理两者交点表示对应对象处于同等位

置. 2) 图 5(b) 可以表明等级集结值大小对 F 的影响. 固定 $\delta_1, \delta_2 (\delta_1 = \delta_2)$ 和等级评价值 (为了保证 $r_1 \leq r_2$, 取 r_2 为最大值 7), 随着 r_1 的增大, F_{11}, F_{21} 大致趋于减少, 并且间距逐渐减小直至为零. 根据式 (12), $r_1 \leq (7 + 0.5)/2 = 3.75$ 和 $r_1 \geq (7 + 0.5)/2 = 3.75$ 分属两种情况, 所以曲线出现拐点.

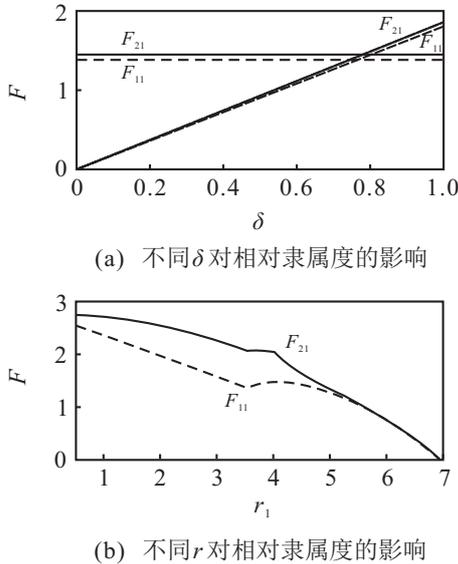


图 5 不同 δ 和 r 对相对隶属度的影响

综上所述, 本文方法对专家信息充分挖掘并进行融合, 针对评价结果进行自判, 可以寻求更客观实际的决策结果.

3.2 方法比较分析

为了进一步表明所提出方法的合理性和优势, 分别与本文方法不考虑排序算法 (记为 I)、只考虑专家一致性不考虑语言信息灰度方法 (记为 II)、文献 [8] 方法 (记为 III)、文献 [15] 方法 (记为 IV) 进行比较, 结果见表 4.

对于方法 I、方法 II, 其排序结果与本文所提出方法结果有所差异, 表明考虑语言信息灰度方法和新排序算法均对排序结果有影响. 本文充分挖掘了专家的语言信息, 融合信息语言、等级语言和权重语言信息, 基于专家一致性、语言信息灰度以先验信息计算专家综合权重, 构造新排序算法, 进而给出综合排序. 由于考虑信息掌握程度且可以判断决策结果可靠度, 使决策结果满足一定的可靠性.

本文方法与方法 III 的排序进行比较, 结果一致, 但是与方法 III 相比, 具有以下优势: 1) 对于评价结果, 本文方法不仅给出了排序结果, 并且给出了各对象所处的等级信息和评价结果可靠性的满足情况, 使决策结果更为清晰; 2) 在信息集结过程中, 本文方法根据专家初始信息进行属性权重确定, 相较于文献 [8] 通过信息距离构建线性规划模型确定属性权重的方法, 避免了出现多数属性权重为 0 的局势, 权重确定合理; 3) 对于评价结果可靠性, 本文案例各评价结果均满足临界可靠度, 若提高临界可靠度, 例如 $\delta = 0.7$, 对象 h_2 的评价结果可靠度低于临界可靠度, 需要调整其初始信息, 则会得出不一样的决策结果, 而现有文献中方法因未调整初始信息将导致决策结果失效.

本文方法与方法 IV 的排序进行比较, 排序结果一致, 但是等价评价差距较大, 这是由于在相较于方法 IV 直接主观给出反映信息可靠性数值, 本文方法基于熵模型进行处理, 最大利用有效信息价值, 从而有利于客观判断可靠性. 本文未与文献 [14] 方法做出对比, 由于其方法需要事先确定语言信息可靠性隶属度, 具有一定的主观性, 本文未能针对本算例提供其隶属度, 因此未参与比较. 但就方法而言, 本文客观确定语言信息可靠性具有一定的优势.

表 4 不同决策方法结果对比情况

	方法 I	方法 II	方法 III ^[8]	方法 IV ^[15]	本文方法
计算等级结果	$\hat{R}_1 = (4.73, 0.25)$ $\hat{R}_2 = (4.98, 0.315)$	$\hat{R}_1 = 4.95$ $\hat{R}_2 = 5.18$	无	$\hat{R}_1 = (5.22, 0.28)$ $\hat{R}_2 = (5.02, 0.27)$	$\hat{R}_1 = (4.73, 0.25)$ $\hat{R}_2 = (4.98, 0.315)$
排序结果	$\hat{R}_3 = (6.27, 0.3)$ $h_1 < h_2 < h_3$	$\hat{R}_3 = 6.03$ $h_1 < h_2 < h_3$	$h_2 < h_1 < h_3$	$\hat{R}_3 = (5.77, 0.28)$ $h_2 < h_1 < h_3$	$\hat{R}_3 = (6.27, 0.3)$ $h_2 < h_1 < h_3$

4 结 论

本文针对基于语言信息的多属性群决策问题, 提出了一种考虑语言信息灰度的可靠性自判决策模型. 从信息语言、等级语言、权重语言信息方面充分挖掘决策者的信息量, 以便获得更切合实际的信息情况. 通过计算语言信息灰度表征决策者的信息掌握情

况, 进一步调和专家权重, 以寻求更客观实际的决策结果. 同时研究了针对等级评价、语言信息灰度双重信息的排序问题, 涵盖评价论域全信息, 提出较全面的排序方法, 避免了决策过程中信息的损失. 下一步可扩展至对应软件系统的开发、复杂产品研制设计方案论证等实际问题进行研究.

参考文献(References)

- [1] Kim S H, Choi S H, Kim J K. An interactive procedure for multiple attribute group decision making with incomplete information: range-based approach[J]. *European J of Operational Research*, 1999, 118(1): 139-152.
- [2] Zadeh L A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I[J]. *Information Sciences*, 1975, 8(3): 199-249.
- [3] Wang Y, Ma X L, Lao Y. A fuzzy-based customer clustering approach with hierarchical structure for logistics network optimization[J]. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(2): 521-534.
- [4] Fragkou P. Information extraction versus text segmentation for web content mining[J]. *Int J of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 2013, 23(8): 1109-1137.
- [5] Kacem S B H, Borgi A, Tagina M. Extended symbolic approximate reasoning based on linguistic modifiers[J]. *Knowledge and Information Systems*, 2015, 42(3): 633-661.
- [6] Fan Z P, Li Y H, Wang X H. Hybrid similarity measure for case retrieval in cbr and its application to emergency response towards gas explosion[J]. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(5): 2526-2534.
- [7] Xu Z S. Incomplete linguistic preference relations and their fusion[J]. *Information Fusion*, 2006, 7(3): 331-337.
- [8] Wei G W. Grey relational analysis method for 2-tuple linguistic multiple attribute group decision making with incomplete weight information[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(5): 4824-4828.
- [9] Gao J W, Li M, Liu H H. Generalized ordered weighted utility averaging-hyperbolic absolute risk aversion operators and their applications to group decision-making[J]. *European J of Operational Research*, 2015, 243(1): 258-270.
- [10] 郝晶晶, 朱建军, 刘思峰. 基于Orness测度的多阶段不确定语言信息优化集结[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(11): 2866-2873.
(Hao J J, Zhu J J, Liu S F. Aggregation of multi-stage uncertain linguistic evaluation information based on orness[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2013, 33(11): 2866-2873.)
- [11] Zhu J J, Wang H H, Chen Y. Project evaluation method using non-formatted text information based on multi-granular linguistic labels[J]. *Information Fusion*, 2015, 24: 93-107.
- [12] Rezaei J. Best-worst multi-criteria decision-making method[J]. *Omega*, 2015, 53: 49-57.
- [13] AL-Oqla F M, Amjad A O. An expert-based model for selecting the most suitable substrate material type for antenna circuits[J]. *Int J of Electronics*, 2015, 102(6): 1044-1055.
- [14] 朱卫东, 周光中, 杨善林. 基于二维语言评价信息的群体决策方法[J]. *系统工程*, 2009, 27(2): 113-118.
(Zhu W D, Zhou G Z, Yang S L. An approach to group decision making based on 2-dimension linguistic assessment information[J]. *Systems Engineering*, 2009, 27(2): 113-118.)
- [15] Mi C M, Ma Z Z, Ding Z Q. A linguistic evaluation model considering grey information and its application on complex product supplier performance[J]. *J of Grey System*, 2015, 25(3): 34-43.
- [16] 王坚强, 刘淘. 基于综合云的不确定语言多准则群决策方法[J]. *控制与决策*, 2012, 27(8): 1185-1190.
(Wang J Q, Liu T. Uncertain linguistic multi-criteria group decision-making approach based on integrated cloud[J]. *Control and Decision*, 2012, 27(8): 1185-1190.)
- [17] Liu P D. The multi-attribute group decision making method based on the interval grey linguistic variables weighted aggregation operator[J]. *J of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2013, 24(2): 405-414.
- [18] Liu S F, Forrest J, Vallee R. Emergence and development of grey systems theory[J]. *Kybernetes*, 2009, 38(7): 1246-1256.
- [19] Jaynes E T. Information theory and statistical mechanics[J]. *The Physical Review*, 1957, 106(4): 620-630.
- [20] 耿志强, 姬威, 韩永明. 基于维度最大熵数据流聚类的异常检测方法[J]. *控制与决策*, 2016, 31(2): 343-348.
(Geng Z Q, Ji W, Han Y M. Data stream clustering algorithm based on the maximum entropy of data dimension and its applications for anomaly detection[J]. *Control and Decision*, 2016, 31(2): 343-348.)
- [21] Winston W L. Operations research application and algorithms[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 144-207.
- [22] Yan H B, Ma T. A group decision making approach to uncertain quality function deployment based on fuzzy preference relation and fuzzy majority[J]. *European J of Operational Research*, 2015, 241(3): 815-829.
- [23] Dong Y, Herrera-Viedma E. Consistency-driven automatic methodology to set interval numerical scales of 2-tuple linguistic term sets and its use in the linguistic gdm with preference relation[J]. *IEEE Trans on Cybernetics*, 2015, 45(4): 780-792.
- [24] 钟金宏, 白阳. 面向复杂产品开发供应商选择的改进BN模型[J]. *机械工程学报*, 2016, 52(1): 175-183.
(Zhong J H, Bai Y. Improved Bayesian network model for supplier selection of complicated product development[J]. *J of Mechanical Engineering*, 2016, 52(1): 175-183.)

(责任编辑: 郑晓蕾)