

兼顾影响力与共识度的混合信息集成框架求解方法及应用

李伟伟^{1,2}, 崔文龙^{1†}, 易平涛^{1,2}, 董乾坤^{1,2}, 李真明¹

(1. 东北大学工商管理学院, 沈阳 110167; 2. 东北大学东北评价中心, 沈阳 110167)

摘要: 针对混合信息共存的评价问题, 从综合集成的视角探索混合信息集成框架的构建原则与流程, 并面向混合信息集成框架, 提出一种兼顾专家信息的影响力与共识度的求解方法. 首先, 基于随机模拟技术求解各信息支流的优胜度矩阵; 其次, 融合 DEMATEL 方法与优胜度矩阵求解得到体现专家信息影响力的信息支流外部权重; 然后, 基于序关系分析及共识差异度的衡量, 给出体现专家信息共识度的信息流内部权重求解方法; 最后, 将外部、内部权重与相应的优胜度矩阵进行合成求解, 得到体现被评价对象优劣关系的整体优胜度矩阵, 并据此推导出被评价对象之间带有概率信息的可能性排序结论. 通过与两个算例结论的对比分析, 验证了所提出方法的有效性, 并发现该方法具有提升评价结论群体共识度且凸显被评价对象之间优胜差异的特征. 对混合信息集成框架的构建流程进行系统梳理与总结, 从提高信息影响力与共识度的视角进一步丰富混合信息集成框架求解的方法体系, 所提出方法在允许多样性及个性化表达判断意见的复杂多属性决策、(大规模) 群决策、民主决策等问题中有较好的应用前景.

关键词: 综合评价; 混合评价信息; 信息集成框架; 影响力; 共识度

中图分类号: C934 文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2025.0319

引用格式: 李伟伟, 崔文龙, 易平涛, 等. 兼顾影响力与共识度的混合信息集成框架求解方法及应用 [J]. 控制与决策, 2025, 40(10): 3042-3054.

Hybrid information integration framework solving method balancing influence and consensus and applications

LI Wei-wei^{1,2}, CUI Wen-long^{1†}, YI Ping-tao^{1,2}, DONG Qian-kun^{1,2}, LI Zhen-ming¹

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110167, China; 2. Northeastern Evaluation Center, Northeastern University, Shenyang 110167, China)

Abstract: Regarding the evaluation problem of hybrid information coexistence, this paper explores the construction principle and process of a hybrid information integration framework from the perspective of comprehensive integration, and proposes a solution method that takes into account the influence and consensus of expert information. Firstly, based on the stochastic simulation technique, the superiority matrix of each information tributary is solved; Secondly, the external weights of the information tributaries reflecting the influence of experts are obtained by integrating the DEMATEL method with the solving of the superiority matrix; Then, based on the sequential relationship analysis and the consensus discrepancy degree, a method of solving the internal weights of the information tributaries reflecting the degree of consensus of experts is given; Finally, the external and internal weights are synthesized with the corresponding superiority matrix to obtain the overall superiority matrix reflecting the superiority relationship of the evaluated objects, and the conclusion of the possibility ranking with probabilistic information among the evaluated objects is deduced. The validity of the proposed method is verified through comparative analysis with the conclusions of the two cases, and it is found that the method has the characteristics of enhancing the group consensus degree of the conclusions and highlighting the differences in superiority between the evaluated objects. This research comprehends and summarizes the construction process of the hybrid information integration framework, and further enriches the methodology system of hybrid information integration framework solution from the perspective of improving the

收稿日期: 2025-03-28; 录用日期: 2025-05-21.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (72171041, 72171040); 辽宁省自然科学基金优秀青年基金项目 (2024JH3/10200008); 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (N25QNR003, N25ZLL013).

责任编辑: 李登峰.

†通信作者. E-mail: Cui_wl2000@163.com.

本文附带电子附录文件, 可登录本刊官网该文“资源附件”区自行下载阅览.

influence and consensus of information. The proposed method has good application prospects in complex multi-attribute decision-making, (large-scale) group decision-making, democratic decision-making, etc., which allow diverse and personalized expression of judgments.

Keywords: comprehensive evaluation; hybrid evaluation information; information integration framework; influence; consensus degree

0 引言

综合评价是指依据评价目标, 利用被评价对象的属性信息, 采用科学的评价方法对被评价对象进行客观、合理的全面比较、判断并排序的过程^[1], 在经济管理、科技教育及医学等诸多领域有着广泛应用^[2-5]. 随着信息科学与计算机技术的快速发展, 评价环境日益复杂, 现实中采用单一的评价信息很难实现对评价问题的充分表达. 由于评价参与者知识结构、对评价问题关注视角和理解程度的较大差异, 致使其提供评价信息的数据类型、指标体系及集结方法等也不尽相同^[6-7]. 因此, 多种评价信息的混合共存成为综合评价发展过程中不可避免的一个重要现象. 如何在保证评价参与者个人偏好得到充分表达的同时, 对混合评价信息进行科学合理的集成与求解, 是评价理论发展中的一个关键问题^[8].

针对混合评价信息共存的评价问题, 学术界发展出了将不同类型评价信息统一转化为同一类型的信息后再进行集结的处理思路. 如李洪燕等^[9]给出了由 AHP 向 Fuzzy 判断矩阵转化方法, 对不同类型的偏好信息进行有效集成; 陈华友等^[10]提出了不同偏好信息的相对熵最优化集结模型; Peng 等^[11]对 3 种异构数据信息进行转化, 并将其合理应用于群体决策中; 文献 [12] 针对不同数据类型的混合评价信息, 采用随机模拟转化的方法对评价问题进行整体求解; 张发明等^[13]面向实数、区间数、语义信息混合的大规模群体决策问题, 提出了通过转换函数将混合信息转化为语义信息形式, 并采用语义密度加权平均算子 (LDWA) 进行集结的决策模型; 张卓^[14]从混合信息的度量关系及特点的角度出发, 讨论了混合信息的转化问题.

可以看出, 上述研究仅是针对存在混合指标信息的情形展开研究, 但在实际评价中, 混合评价信息还有可能存在于多个评价环节, 如不同评价参与者可能会依据其自身对评价问题的理解, 倾向于采用不同的赋权方法、信息集结方法等. 因而, 如何对多评价环节的专家信息进行集成, 是复杂决策情境下需要解决的关键问题^[15]. 孙永河等^[16]指出, 群组专家信息集成时要灵活地运用非线性思维, 以综合集成的方法代替简单还原法; Csaszar 等^[15]认为对评价者

判断的相对准确性测度是信息集成的关键; 易平涛等^[17-18]给出了一种通过构建信息集成框架, 并采用随机模拟技术进行整体求解的方法, 将传统绝对形式的评价结论拓展到带有优胜概率的可能性排序结论; Li 等^[19]、王露等^[8]研究了多源不确定信息的分类整合转化及信息集成框架的构建与求解方法; 文献 [20] 针对政府绩效的多方评价问题, 通过构建信息集成框架的方式进行整体求解, 极大程度地提高了评价的民主性与可信度.

已有研究为多评价环节专家信息的综合集成提供了有效途径, 其中构建信息集成框架是一种具有高度融扩性的混合信息融合方法, 基本思路是对混合评价信息的分类整合并结合传统评价流程构建以信息流为主要形式的封装结构^[18]. 对混合信息集成框架的科学求解是解决混合信息共存的综合评价问题的关键^[8]. 信息集成框架中各信息流的权重 (以下简称信息权) 是影响集成框架求解以及最终评价结论可靠性与可信度的关键因素, 将现有研究中采用的主要信息权设置方法^[8,17-20]归纳总结如表 1 所示.

表1 现有研究中的信息权设置方法

方法	权重设置依据
统计法	各信息流中评价者数量占评价者总数的比例
指定法	事先给定对不同类别评价者意见的重视程度
偏好法	对评价问题不同侧面的重视程度
序关系分析法	对各信息流重要性程度的排序判断

综合已有文献中关于混合信息集成框架及求解方法的研究, 可以发现其在解决混合评价信息集成问题时仍存在诸多不足: 1) 侧重于混合评价信息的转化^[8,12,19]与集成框架的求解^[17,20], 很少涉及信息集成框架构建的科学流程与约束等相关研究, 导致信息集成框架的构建过程缺乏科学性与系统性的基础依据; 2) 集成框架求解过程中, 信息权的设置方法以主观赋权为主, 导致评价结论受评价者主观因素的影响较多; 3) 已有研究在求解信息权时, 较少考虑专家意见的影响力与共识度问题, 而现实决策中专家的判断及经验信息十分重要, 因此有必要规范各类专家信息的集成流程并探讨能够充分体现专家意见影响力与共识度的求解方法.

此外,现实中民主决策与大规模评价普遍存在,如组织决策的民主测评、政策效果的专家评估、项目可行性的大规模调查等,参与者因知识背景、专业经验及个人偏好的不同,通常会提供异质性的偏好信息.如何对多来源的异质混合信息进行有效集成,是需要解决的关键问题.实践中,充分考虑专家意见的影响力与共识度是一种常见需求,影响力意味着对高权威度信息的认可,而共识度则意味着对多数判断意见的综合,研究兼顾两者的集成方法可同时保障评价结论的可靠性与共识度,在民主决策及大规模评价问题中有着广泛的应用需求与实践空间.

针对上述问题及现实需求,本文首先对混合评价信息的分类集成问题进行探索,给出信息集成框架构建的原则和流程,即以混合评价信息为出发点,以传统综合评价流程为主线的构建思路;然后从客观赋权的视角探讨兼顾信息影响力与共识度的信息求解方法,该方法将信息权分解为外部权重与内部权重,其中外部权重指信息支流的权重,由信息流中各支流间的相互影响程度确定,用于衡量专家信息的影响力,内部权重为信息流权重,由各信息流所包含支流的相似度确定,用于衡量专家判断的共识度;进一步,融合外部和内部权重及信息支流的优胜度矩阵完成混合信息集成框架的整体求解,得到被评价对象间的带有概率信息的可能性排序.本文系统梳理与总结混合信息集成框架的构建流程,提升信息集成框架构建的科学性与规范性,并从提升专家信息影响力与共识度视角进一步丰富混合评价信息的求解方法,能够有效提升综合评价解决复杂问题的能力,拓展综合评价的实践服务能力.

1 问题描述

信息技术的发展,使得个人利用多渠道信息或是借助多人甚至大规模个体信息进行复杂问题决策十分便利且常见^[21-22].然而,传统综合评价方法对数据形式、偏好表达等评价要素有着较为严格的要求.例如:由于不同指标数据的不可公度性而导致信息无法直接合成的问题,对原始数据的规范化处理成为解决问题的关键和科学评价的基本前提.但在评价实践中,评价问题的复杂化、多样化导致评价者在分析问题、设定目标(指标)、表达偏好、选择方法等各方面都不尽相同.对于这类具有“多群体、多关系、多结构信息及多偏爱表达性质”的多维网状结构综合评价问题,通常无法按照传统的评价流程进行有效求解.鉴于此,本文以群体评价为背景,研究不同评价环节混合信息共存情形下的综合集成及聚合求解问题,以期对复杂综合评价问题的高效求解提供方法与技术支撑.多评价环节混合信息共存的综合评价问题描述见图1.

不失一般性,设有 L 位评价者 d_1, d_2, \dots, d_L 对 n 个被评价对象 o_1, o_2, \dots, o_n 进行综合评价.在群体评价过程中,赋予每位评价者充分的自主权使其在评价过程中可以独立表达自身观点与偏好.该方式可使评价者摆脱指标体系、指标权重、数据形式与集结方法等多个方面的约束限制,独立自主地提供评价信息.鉴于此,设第 l ($l = 1, 2, \dots, L$)位评价者选用 l_m 个指标(记为 x_1, x_2, \dots, x_{l_m})对 n 个被评价对象进行评价,各指标取值为 x_{ij} , $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, l_m$, x_{ij} 可取实数、区间数、三角模糊数、语义信息乃至排序等多种数据形式.有关不同类型指

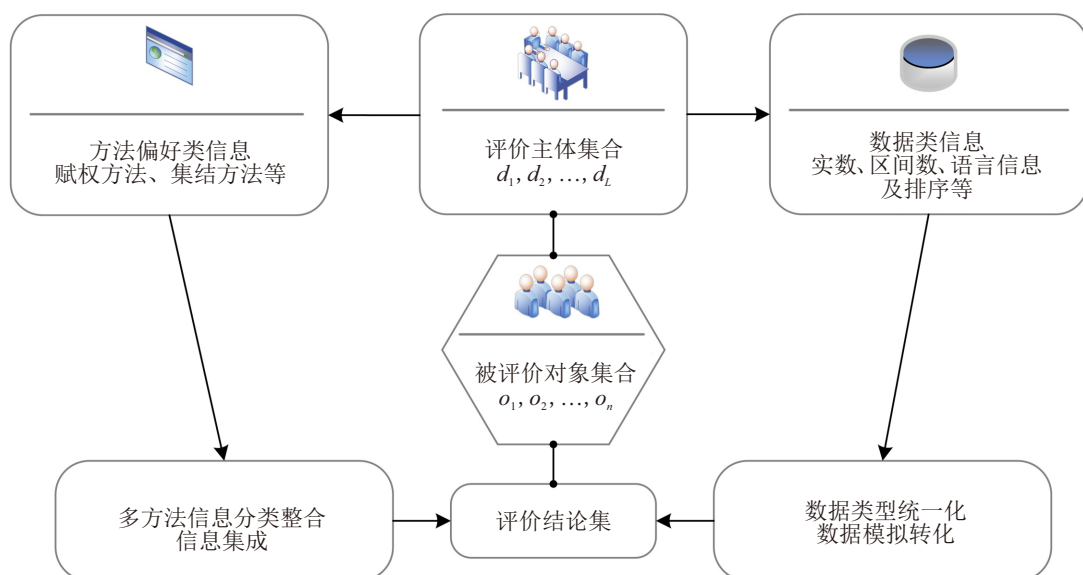


图1 混合信息共存的综合评价问题描述

标数据的详细介绍可参见文献 [18-19], 囿于篇幅, 此处不再赘述. 在明确评价指标与数据后, 评价者可进一步依据对评价问题的理解以及对问题不同侧面的重视程度, 给出所选用的赋权方法 (如熵值法、层次分析法或 TOPSIS 等) 与集结模型 (如线性集结或积性集结等) 等信息. 此外, 评价者也可以依据自身判断直接给出反映被评价对象之间优劣关系的全排序或者部分排序等信息.

2 信息集成框架的构建原则

构建信息集成框架是为了对评价者所提供的评价值、指标、权重及集结方法等评价信息进行有效整合^[18]. 在实际应用中, 评价信息的多样性及异质性决定了构建信息集成框架的多可能性. 因此, 在信息集成框架构建时, 要综合考虑评价目的、信息结构及在此基础上的信息流设置等多方面因素. 为合理构建混合信息集成框架, 在框架设计过程中应遵循相应的原则. 文献 [23] 提出了指标体系构建时应遵循目的性、完备性、可操作性、独立性、显著性、动态性 6 项原则, 即“O-C-W-I-S-D”原则. 本文借鉴其研究思路, 总结了混合信息集成框架构建时应遵循的 4 项主要原则:

1) 目标主导原则. 实践中, 进行科学评价之前首先需要明确评价目标, 并将评价目标内化融合到信息集成框架中. 因此, 信息集成框架的构建应以评价目标为第一指导原则, 以充分体现评价的目标导向功能. 同时, 框架的结构及内容要能准确且充分地反映出评价的目的, 要包含评价目标实现所需的基本内容与要求, 并以此为基础对每位评价参与者的观点进行全面梳理. 例如: 某次多方参与的区域创新能力评价中, 通过构建混合信息集成框架发现多数评价者从创新环境角度选取指标, 那么该区域政府通常会关注点更多地放在创新环境的维护及发展等方面.

2) 充分表达原则. 评价参与者作为独立主体参与评价时, 通常都希望个人的观点、判断得以充分地表达与采纳. 因此, 在构建信息集成框架时, 要保证其具有良好的容纳性和延展性, 可以很好地融合所有评价参与者的个人观点及偏好, 使评价参与者所提供的全部评价信息均能完整地容纳到信息集成框架中.

3) 支流闭合原则. 信息集成框架的主要组成要素为信息流, 而信息流通常由若干信息支流组成. 因此, 在构建信息集成框架的过程中, 应保证每条信息支流均能连接到最终的评价结论, 即评价参与者提

供的评价信息均被融入到评价流程中, 从而使信息集成框架成为一个闭合的评价系统. 例如: 若有 N 位评价参与者, 则理论上应有 N 条连接至评价结论的信息支流, 若存在两位评价者所提供的信息及个人偏好完全一致的情形, 则会通过信息支流合并的方式实现评价信息与最终结论的闭合对接.

4) 系统集成原则. 信息集成框架中的信息流通常由传统评价流程中某环节的多种信息并行而成, 是对评价者所提供评价信息的并行结构封装^[1]. 因此, 信息集成框架的构建是对若干评价信息进行系统集成过程, 最终体现为一个由若干相互联系、相互作用的信息流组成的评价系统, 就其本质而言, 混合信息集成框架是“评价流程的复合体”, 应具有整体性.

上述 4 项原则为混合评价信息向信息集成框架转化提供了指导. 具体而言, 目标主导原则是信息集成框架构建应遵守的基础原则, 体现了评价的目标导向功能; 充分表达原则面向评价参与者, 保障了其充分的“话语权”; 支流闭合原则对框架结构做出了必要的限制, 将全部评价信息融入到集成框架中, 保证了框架内容的完整性; 系统集成原则是框架初步构建完成后的反馈检验原则, 保障了集成框架的系统性与完整性. 综上可知, 目标主导、充分表达、支流闭合、系统集成 4 项原则分别从评价目的、评价参与者、信息整合、框架检验等方面对信息集成框架的构建进行控制与约束, 从逻辑上保障了混合信息集成框架构建过程的完整性与结构的系统性.

3 信息集成框架的求解流程及方法

基于前述 4 项构建原则, 并结合既有文献的研究成果, 本节首先系统梳理总结了混合信息集成框架构建及求解的全流程. 在此基础上, 提出一种高效的集成框架求解方法, 该方法能够综合考虑专家信息的影响力与共识度, 进而实现信息集成可信度和评价结论满意度的提升.

3.1 信息集成框架的求解流程

基于混合信息集成框架的构建原则, 可将混合信息整合为若干信息流的并行结构化封装, 形成信息集成框架, 该框架的主要构成要素为信息流, 而信息流的基本构成要素为评价参与者所提供的各类评价信息, 包括评价者所选指标集、评价数据、指标权重、集结方法或评价结论等, 如图 2 所示.

在构建混合信息集成框架时, 首先, 要明确评价的目的. 例如, 评价过程中是突出专家偏好, 还是强调问题解读的全面性, 抑或是提高评价的精准性等,

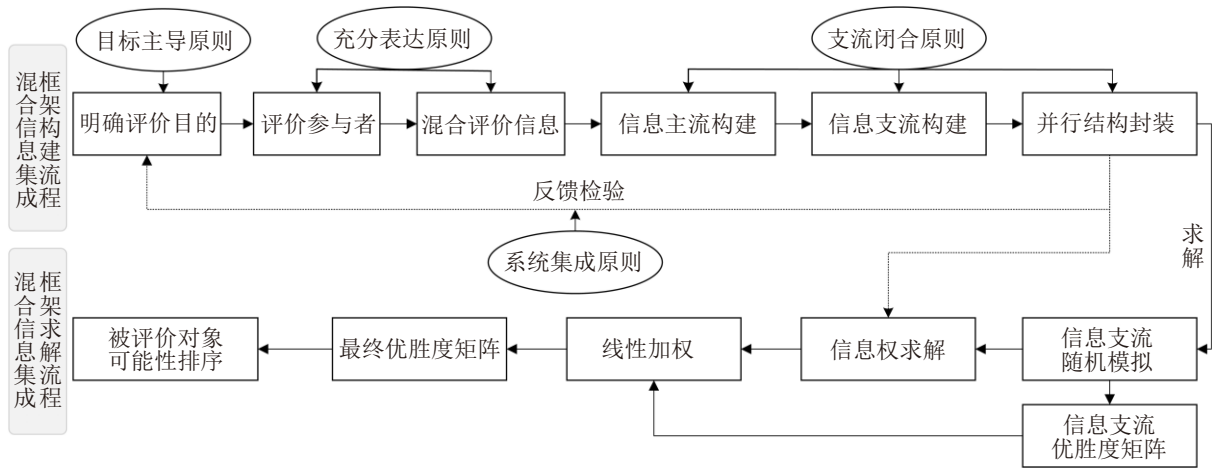


图2 信息集成框架构建及求解流程

对评价目的的充分理解,是合理构建信息集成框架的基础.然后,在评价者所提供的混合评价信息中选择能够充分表达评价目的的某一类评价信息作为信息流的分类依据,将提供同类信息的评价者整合到相同的信息流中.例如文献 [20] 所构建的多方参与政府绩效评价的信息集成框架,是依据评价参与者的个人身份特征进行信息流的整合分类,准确反映出多参与方的个体属性特征.在信息流构建完成的基础上,以每条信息流为基本单位,进一步构建相应的信息支流,信息支流的构建应以传统综合评价流程为底层框架,将评价者所提供的全部评价信息(除信息流外)按不同的评价环节进行细腻化整理与融合.最后,对初步构建的混合信息集成框架进行结构封装,确保每条信息流包含完整评价流程所需的全部环节.若评价者直接给出被评价对象之间的优劣排序,则可将排序链单独作为一条信息流进行封装,直接连接至评价结论.

信息集成框架实现了混合信息的分类整合,进一步,需要在信息集成框架的基础上进行所有评价信息的整体求解,以支撑最终的决策判断.鉴于信息集结框架的复杂性与开放性特征,通常采用随机模拟的方法对集成框架进行整体聚合求解.具体而言,首先对各信息流进行单独的随机模拟,统计不同被评价对象之间的优劣概率,得到各信息流的优胜度矩阵(若有信息支流的情况下,则可将优胜度矩阵的模拟求解细化到信息支流层面,以进一步简化求解过程);然后设置信息权,反映了评价需求方对各评价参与者的重视程度及意见吸纳度,是框架求解流程中至关重要的环节;接着融合各信息流的优胜度矩阵与信息权得到整体优胜度矩阵,蕴含了被评价对象两两之间的优劣关系信息;最后基于整体优胜度矩阵得到被评价对象之间带有可能性的优劣排序,

以更好地支撑后续的择优排序、决策判断.

3.2 信息集成框架的求解方法

随着决策问题复杂度及评价参与者的增加,信息集结框架也会变得愈发庞大,从而对其求解效率带来更高的挑战.为提升求解效率并节约求解成本,本文将优胜度矩阵及信息权的求解进一步分解到信息支流层面,并在求解过程中充分考虑专家信息的影响力和共识度,借鉴 DEMATEL 方法和序关系分析法给出一种高效的信息集结框架求解方法.

由图 2 可知,信息集成框架求解过程中,需要解决的关键问题包括:各信息流对应的优胜度矩阵求解、内部与外部信息权的求解及最终优胜度矩阵的求解等.求解过程中,涉及的核心符号及其含义如表 2 所示.

表2 核心符号及其含义

符号	含义	符号	含义
a, b	信息流 $(a, b = 1, 2, \dots, H)$	S	优胜度矩阵
p, q	信息支流 $(p, q = 1, 2, \dots, z_a)$	G	初始影响度矩阵
f, e	信息流的影响度和被影响度	X	规范化影响度矩阵
ξ	信息支流相似度	T	综合影响度矩阵
λ	信息流共识差异度	I	单位矩阵

3.2.1 信息支流优胜度矩阵的求解

混合信息的共存使得实践中无法采用数理分析的方式对各条信息支流进行直接求解,而混合信息通常意味着判断的多样性,使得被评价对象之间并不总是呈现“非此即彼”的优劣关系.在该情形下,借助随机模拟技术在大规模仿真的基础上统计被评价对象之间的优劣关系成为判断被评价对象“孰优孰劣”的一种可行方式.针对该问题,易平涛等^[18]将随机模拟技术融合到各信息流的求解过程中,通过对混合信息的随机转化与模拟集成,得到以优胜概率表示的被评价对象之间优劣关系的优胜度矩阵.

基于现有研究,并结合图2中给出的信息集成框架的求解步骤,该部分对各信息流的支流分别进行优胜度矩阵的求解,从而为后续信息流和信息支流对应的信息权及最终优胜度矩阵的求解奠定基础.不失一般性,设某信息集成框架中共有 H ($H \geq 1$)条信息流,第 a ($a = 1, 2, \dots, H$)条信息流下共有 z_a ($z_a \geq 1$)条信息支流.下面将各信息支流对应的优胜度矩阵求解过程总结归纳如下.

step 1: 设置随机模拟仿真次数监控变量count,令count = 0,设置计数变量 r_{ij} 和 r'_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$).

step 2: 将各信息支流中评价者所提供的多类型评价数据进行随机转化,具体的转化方法参见文献[12],此处不再赘述.

step 3: 在每次的模拟仿真中,随机提取各信息支流中随机转化后的评价信息,并依据该信息支流中相应的评价方法(通常包括标准化处理法、指标赋权法、信息集结方法等)对评价信息进行集结,得到该次模拟中被评价对象的综合评价值.

step 4: 若被评价对象 o_i 的综合评价价值大于被评价对象 o_j 的评价值,则令 $r_{ij} = r_{ij} + 1$;若被评价对象 o_i 的综合评价价值等于被评价对象 o_j 的评价值,则令 $r'_{ij} = r'_{ij} + 1$.

step 5: 令count = count + 1,若count = sum (sum为事先给出的总仿真次数,通常混合评价信息结构及类型越复杂,信息流和信息支流越多,sum的值应越大),则转入step 6,否则转入step 3.

step 6: 统计被评价对象 o_i 与 o_j 之间的优胜概率 s_{ij} ,即 $s_{ij} = (r_{ij} + 0.5r'_{ij})/\text{count}$,仿真结束.

通过上述随机模拟过程,可以得到各信息支流对应的被评价对象之间优劣比较的优胜度矩阵,记第 a 条信息流下第 z ($z = 1, 2, \dots, z_a$)条信息支流的优胜度矩阵为 S^{az} ($S^{az} = [s_{ij}^{az}]_{n \times n}$),则有 $s_{ij}^{az} \in [0, 1]$ 且 $s_{ij}^{az} + s_{ji}^{az} = 1$,其中 s_{ij}^{az} 表示第 a 条信息流下第 z 条信息支流中被评价对象 o_i 优于被评价对象 o_j 的概率.

基于各信息支流对应的优胜度矩阵,可进一步按照文献[18]的优超数方法求解得到该信息支流下被评价对象之间的可能性排序,从而为后续信息权的求解奠定基础.具体求解方法如下:称 $p(o_i^{az})$ 为第 a 条信息流下第 z 条信息支流中被评价对象 o_i 的优超数,有

$$p(o_i^{az}) = \text{count}(s_{ij}^{az} > 0.5) + 0.5\text{count}(s_{ij}^{az} = 0.5). \quad (1)$$

其中: $i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j$; $\text{count}(\cdot)$ 为计数函数,

表示满足“ \cdot ”条件的元素个数.

基于式(1)求得各被评价对象的优超数后,按照优超数由大到小的顺序对被评价对象进行排序,若出现被评价对象 o_i 与 o_j 优超数相等的情形,则可进一步结合 s_{ij}^{az} 的大小对两者进行排序,规则如下:

- 1) 当 $s_{ij}^{az} > 0.5$ 时,认为 o_i 有较大的概率优于 o_j ;
- 2) 当 $s_{ij}^{az} < 0.5$ 时,认为 o_j 有较大的概率优于 o_i ;
- 3) 当 $s_{ij}^{az} = 0.5$ 时,认为二者优劣相当.

3.2.2 信息权的求解

已有研究对信息集成框架进行求解时,信息流的权重多是由评价者主观给出,未考虑专家信息的影响力及共识度等因素.实践中,对于信息影响力与共识度的考虑十分必要,可有效提升决策结论的群体接受程度.由信息集成框架的构建过程可知,所有专家信息均被整合到不同的信息流中,即同一条信息流中各支流可能会融合多个评价者的判断信息.与此同时,评价者的判断信息也有可能被融合到不同的信息支流中,从而导致专家信息的影响力主要体现在不同信息支流之间存在一定的相互影响.因此,在基于影响力确定信息权时主要应考虑不同信息支流之间的相互影响关系.此外,群体决策中,识别并突出共识性判断的作用,可有效提升评价结论的接受范围与程度.因此,本文在信息影响力分析的基础上,进一步考虑信息流的共识度,对评价参与者共识水平较高的信息流赋予了较大的权重,以此提升最终评价结论的群体共识.

基于以上分析,图3给出了信息集成框架中信息权的求解思路框架.需要说明的是,由于信息权的作用是最最终与信息支流、信息流的优胜度矩阵融合得到可能性排序结论,为更好地体现信息权的作用,图3中加入了后续最终优胜度矩阵及可能性排序的内容(具体求解方法详见3.2.3节).

- 1) 体现影响力的外部权重求解.

如上所述,本文将信息权分为外部权重和内部权重两部分,其中外部权重代表的是信息支流的权重,反映的是某信息支流与其他信息支流之间的相互影响程度,某信息支流与其他信息支流之间的相互影响程度越大,意味着该信息支流越重要,应被赋予越大的外部权重.决策试行与评价实验室(DEMATEL)是运用图论与矩阵论的原理分析系统内要素之间影响与被影响程度的一种重要算法^[24-27].鉴于此,本文将DEMATEL算法应用至信息支流的优胜度矩阵中,以实现对各信息支流之间的相互影响程度进行分析,并据此确定各信息支流的外部权

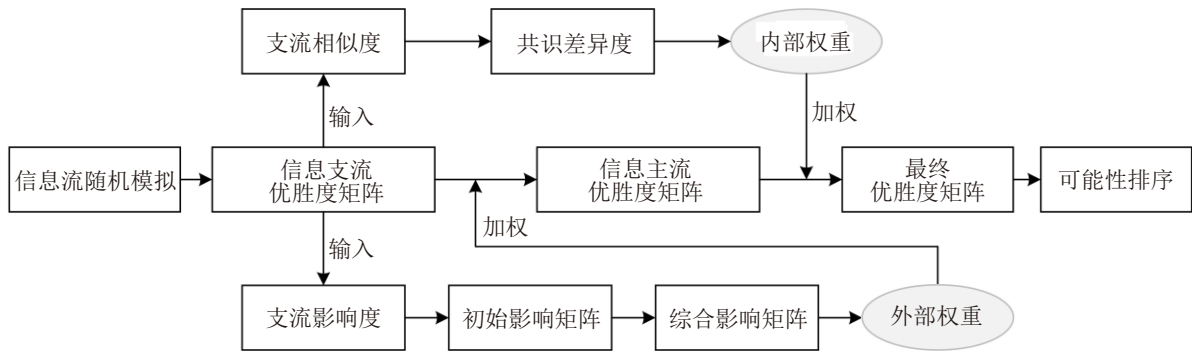


图3 混合信息集成框架中信息权的求解框架

重, 具体计算过程如下.

step 1: 构造初始影响矩阵. 依据各信息支流对应的优胜度矩阵, 求解信息支流之间的初始影响矩阵. 设 $G^a = [g_{pq}^a]_{z_a \times z_a}$ 为第 a 条信息流内部 z_a 条信息支流之间的初始影响矩阵, 其中 g_{pq}^a 为第 p 条信息支流对第 q 条信息支流的影响度 ($p, q \in \{1, 2, \dots, z_a\}$), 有

$$g_{pq}^a = \sum_{i,j=1}^{z_a} |(s_{ij}^{ap} - s_{ij}^{aq})|/2, \quad (2)$$

其中 s_{ij}^{ap} 表示由第 a 条信息流下第 p 条信息支流对应的优胜度矩阵的第 i 行 j 列所对应的元素, ij 由第 p 条信息支流随机模拟所得出的可能性排序链确定. 例如, 设第 a 条信息流下第 p 条信息支流中 5 个被评价对象之间的可能性排序结论为 $o_1 \succ_{s_{13}^{ap}} o_3 \succ_{s_{32}^{ap}} o_2 \succ_{s_{25}^{ap}} o_5 \succ_{s_{54}^{ap}} o_4$, 则有 $ij = 13, 32, 25, 54$. g_{pq}^a 越大表明对两条信息支流线性加权后, 第 p 条信息支流对第 q 条信息支流评价结论的影响度越大, 故有 $g_{pp}^a = 0$.

step 2: 初始影响矩阵的规范化处理. 记规范化影响矩阵为 X^a ($X^a = [x_{pq}^a]_{z_a \times z_a}$), 有

$$X^a = G^a / \max_{1 \leq p \leq z_a} \sum_{q=1}^{z_a} g_{pq}^a. \quad (3)$$

step 3: 计算第 a 条信息流下各信息支流的综合影响矩阵, 记为 $T^a = [t_{pq}^a]_{z_a \times z_a}$, 则有

$$T^a = \lim_{k \rightarrow \infty} (X^a + (X^a)^2 + \dots + (X^a)^k) = X^a(I - X^a)^{-1}, \quad (4)$$

其中 t_{pq}^a 为第 a 条信息流下第 p 条信息支流和第 q 条信息支流之间的综合影响程度.

step 4: 计算各信息支流的影响度与被影响度. 将综合影响矩阵 T^a 的行和称为该行所对应信息支流的影响度, 反映了该信息支流对其余支流的直接和间接影响之和. 同理, 将综合影响矩阵 T^a 的列和称为该列所对应信息支流的被影响度, 反映了该信息支流受到其余支流的直接和间接影响之和, 记 f_z^a

和 e_z^a 分别为第 a 条信息流中第 z 条信息支流的影响度和被影响度, 有

$$f_z^a = \sum_{q=1}^{z_a} t_{zq}, \quad z = 1, 2, \dots, z_a; \quad (5)$$

$$e_z^a = \sum_{q=1}^{z_a} t_{qz}, \quad z = 1, 2, \dots, z_a. \quad (6)$$

step 5: 计算各信息支流的外部权重. 综合各信息支流的影响度和被影响度, 计算其外部权重. 记第 a 条信息流中第 z 条信息支流的外部权重为 ω_z^a , 有

$$\omega_z^a = (f_z^a \cdot e_z^a) / \sum_{z=1}^{z_a} (f_z^a \cdot e_z^a), \quad (7)$$

其中 $\omega_z^a \in (0, 1)$ 且 $\sum_{z=1}^{z_a} \omega_z^a = 1$.

需要说明的是, 当某信息流中没有信息支流时, 无需计算其外部权重.

2) 体现共识度的内部权重求解.

本研究中内部权重代表信息流的权重, 反映某信息流在信息集成框架中的重要性程度. 为提升最终结论的群体共识程度, 内部权重通过信息流中所包含信息支流之间的共识度进行衡量, 即某信息流所包含的支流之间相似度越高, 意味着该信息流上的评价参与者之间的共识度越高, 在求解过程中应被赋予越大的内部权重. 针对该需求, 本文将共识测度与序关系分析法^[28]相结合, 给出一种内部权重的求解方法. 需要说明的是, 此处选用序关系分析法, 主要原因是该方法通过建立序关系的方式, 为信息流中共识度大小的判断提供了比较标准, 进而可作为信息流自身重要性的判断依据^[29-30].

结合序关系分析法及信息支流优胜度矩阵求解内部权重的计算过程如下所述.

step 1: 计算信息支流间的相似度. 通过对支流优胜度矩阵的比较, 计算不同支流间的评价结论相似度. 记第 a 条信息流所含支流的相似度为 ξ_a , $a \in \{1, 2, \dots, H\}$, 有

$$\xi_a = \frac{2 \sum_{p,q=1}^{z_a} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (s_{ij}^{ap} - s_{ij}^{aq})^2}}{n(n-1) - z_a(z_a - 1)}, \quad (8)$$

其中 $p, q \in \{1, 2, \dots, z_a\}$ 且 $p \neq q$. 当某信息主流没有支流时, $z_a = 1$, 令 $\xi_a = 0$.

step 2: 确定信息流的重要性排序. 基于各信息流内部信息支流的相似度, 对各信息流进行重要性排序, 相似度越高意味着该信息流中专家的共识度越高, 该信息流在集成框架的求解中越重要, 排序越靠前.

step 3: 计算不同信息流之间的共识差异度. 共识差异度用于对排序相邻的两条信息流重要性程度进行比较分析, 不失一般性, 设参数 λ_{ab} ($a, b = 1, 2, \dots, H$, 且 $a \neq b$) 为第 a 条信息流与第 b 条信息流之间的共识差异度, 有

$$\lambda_{ab} = |\xi_a - \xi_b|. \quad (9)$$

结合式 (8) 和式 (9) 可知, λ_{ab} 的取值范围为 $[0, n(n-1)]$. 当某信息流不存在信息支流时, 有 $\lambda_a = 0$.

step 4: 比较判断相邻两条信息流之间的相对重要性程度. 依据共识差异度给出排序后相邻两条信息流之间的相对重要性程度的比较判断, 两条信息流之间的共识差异度越低, 意味着两者之间的判断信息越相似, 两者的重要性程度也越接近. 基于以上思路, 设排序后的相邻两条信息流之间的重要性程度之比为 r_u , 有

$$r_u = \omega^{a-1} / \omega^a, \quad u = a, a-1, \dots, 3, 2, \quad (10)$$

其中 r_u 的值依据两条信息流之间的共识差异度给出. 由式 (9) 给出的 λ_{ab} 的取值范围, 并参考序关系分析法中重要性程度划分标度, 本文给出基于共识差异度的重要性划分标度, 见表 3.

表3 r_u 赋值参考表

λ_{ab} 参考范围	r_u	说明
0	1.0	第 a 条信息流与第 b 条信息流同样重要
$(0, (n^2 - n)/4]$	1.2	第 a 条信息流比第 b 条信息流稍微重要
$((n^2 - n)/4, (n^2 - n)/2]$	1.4	第 a 条信息流比第 b 条信息流明显重要
$((n^2 - n)/2, 3(n^2 - n)/4]$	1.6	第 a 条信息流比第 b 条信息流强烈重要
$(3(n^2 - n)/4, (n^2 - n)]$	1.8	第 a 条信息流比第 b 条信息流极端重要

step 5: 内部权重的计算. 借鉴序关系分析法计算各信息流的内部权重系数, 记 H 条信息流的内部

权重为 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_H$, 有

$$\omega^H = \left(1 + \sum_{c=2}^H \prod_{u=c}^H r_u\right)^{-1}, \quad (11)$$

$$\omega^{a-1} = r_u \omega^a, \quad a = H, H-1, \dots, 2. \quad (12)$$

3.2.3 最终优胜度矩阵的求解

按照上述过程, 求解得到各信息流的外部权重与各信息流的内部权重后, 将外部权重与各信息流对应的优胜度矩阵进行线性集结, 可以得到各信息流对应的优胜度矩阵 S^a ($S^a = [s_{ij}^a]_{n \times n}$), 具体求解公式如下:

$$s_{ij}^a = \sum_{z=1}^{z_a} \omega_z^a s_{ij}^{az}. \quad (13)$$

按照式 (13) 求解得到各信息流的优胜度矩阵后, 将内部权重与各信息流的优胜度矩阵进行线性集结, 可以得到最终的优胜度矩阵 S ($S = [s_{ij}]_{n \times n}$), 具体求解公式如下:

$$s_{ij} = \sum_{a=1}^H \omega^a s_{ij}^a. \quad (14)$$

按照式 (14) 求解得到最终优胜度矩阵后, 可进一步依据式 (1) 求解各被评价对象的优越数, 并据此得到被评价对象之间的可能性排序.

4 应用算例

该部分选取两个算例, 对本文方法进行应用, 并通过比较分析验证本文方法的有效性及其特点. 在此基础上, 讨论说明本文方法的拓展研究及应用.

4.1 算例 1

选用文献 [18] 中的应用算例, 从区域领导、民众、专家 3 类人群中邀请 12 人对某市 5 区域 (用 o_1, o_2, \dots, o_5 表示) 进行参与式绩效评价. 为简便起见, 记 12 名评价参与者为 l_1, l_2, \dots, l_{12} , 所涉及的评价指标共计 14 项, 记为 x_1, x_2, \dots, x_{14} , 详细的评价信息参见文献 [18], 囿于篇幅, 此处不再赘述.

算例以评价参与者选用的信息集结模型为信息流的分类依据, 构建信息集成框架. 之所以选用集结模型作为分类依据, 主要原因是不同的集结模型关注的发展模式不同, 会导致最终评价结论的差异, 如线性集结模型突出“特长发展”, 评价结论中会凸显优势指标的作用; 而积性集结模型强调“均衡发展”, 劣势指标对评价结论的影响更大. 12 位评价参与者选用的信息集结方式主要有线性集结 (WAA)、积性集结 (WGA) 以及无需集结 3 种.

按照 3.2.1 节的方法对信息集成框架中的 12 条信息支流进行随机模拟仿真, 求解各信息支流的优

胜度矩阵, 其中第 12 条信息支流中评价者直接给出了区域间的排序结论, 可将其直接转化为优胜度矩阵. 得到各信息支流的优势度矩阵后, 进一步依据式 (1) 对 12 个优胜度矩阵分别求解, 可得到各信息支流中体现区域之间优劣关系的可能性排序.

1) 外部权重的求解.

结合式 (2) 可得到各信息流内不同信息支流间的初始影响矩阵 G^1 、 G^2 、 G^3 分别为

$$G^1 = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.535 & 0.728 & 0.958 & 0.504 & 0.900 \\ 1.377 & 0.000 & 1.500 & 0.483 & 0.904 & 0.962 \\ 0.629 & 1.135 & 0.000 & 1.117 & 1.000 & 1.000 \\ 0.342 & 0.461 & 1.302 & 0.000 & 1.072 & 0.794 \\ 0.872 & 0.943 & 1.000 & 1.282 & 0.000 & 1.000 \\ 1.127 & 0.866 & 1.000 & 0.870 & 0.500 & 0.000 \end{bmatrix},$$

$$G^2 = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.507 & 0.531 \\ 0.586 & 0.000 & 1.508 \\ 1.531 & 1.493 & 0.000 \end{bmatrix},$$

$$G^3 = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 1.500 \\ 0.000 & 0.000 & 1.500 \\ 1.500 & 1.500 & 0.000 \end{bmatrix}.$$

进一步, 由式 (3) 和 (4) 求得各信息支流之间的综合影响矩阵 T^1 、 T^2 、 T^3 分别为

$$T^1 = \begin{bmatrix} 1.112 & 0.957 & 1.263 & 1.171 & 0.961 & 1.143 \\ 1.719 & 1.185 & 1.780 & 1.477 & 1.333 & 1.519 \\ 1.579 & 1.323 & 1.512 & 1.517 & 1.314 & 1.478 \\ 1.650 & 1.215 & 1.685 & 1.335 & 1.308 & 1.435 \\ 1.652 & 1.325 & 1.712 & 1.579 & 1.185 & 1.514 \\ 1.475 & 1.151 & 1.492 & 1.328 & 1.106 & 1.165 \end{bmatrix},$$

$$T^2 = \begin{bmatrix} 1.014 & 0.116 & 0.576 \\ 1.193 & 0.987 & 1.595 \\ 1.609 & 1.546 & 1.585 \end{bmatrix},$$

$$T^3 = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.500 & 1.000 \\ 0.500 & 0.500 & 1.000 \\ 1.000 & 1.000 & 1.000 \end{bmatrix}.$$

依据式 (5) ~ (7) 可得到各信息支流的影响度 f_z^a 、被影响度 e_z^a 和外部权重 ω_z^a , 具体数据见表 4.

2) 内部权重的求解.

依据式 (13) 对各信息支流的外部权重与支流优胜度矩阵进行线性加权, 可得各信息流的优胜度矩阵分别为

$$S^1 = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.799 & 0.775 & 0.336 & 0.607 \\ 0.202 & 0.500 & 0.546 & 0.271 & 0.353 \\ 0.226 & 0.455 & 0.500 & 0.078 & 0.510 \\ 0.665 & 0.730 & 0.923 & 0.500 & 0.582 \\ 0.394 & 0.648 & 0.491 & 0.419 & 0.500 \end{bmatrix},$$

$$S^2 = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.553 & 0.280 & 0.460 & 0.553 \\ 0.447 & 0.500 & 0.042 & 0.447 & 0.553 \\ 0.720 & 0.958 & 0.500 & 0.451 & 0.553 \\ 0.540 & 0.553 & 0.549 & 0.500 & 0.533 \\ 0.447 & 0.447 & 0.447 & 0.447 & 0.500 \end{bmatrix},$$

$$S^3 = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.482 & 0.241 & 0.518 & 0.482 \\ 0.518 & 0.500 & 0.518 & 0.518 & 0.759 \\ 0.759 & 0.482 & 0.500 & 0.518 & 1.000 \\ 0.482 & 0.482 & 0.482 & 0.500 & 0.482 \\ 0.518 & 0.241 & 0.000 & 0.518 & 0.500 \end{bmatrix}.$$

进一步, 依据式 (8) ~ (12) 求解得到各信息流内信息支流的相似度分别为 $\xi_1 = 12.046$, $\xi_2 = 8.061$, $\xi_3 = 10.000$. 由式 (9) 和表 3 得到信息流间重要性程度之比分别为 $q_3/q_1 = 1.2$, $q_1/q_2 = 1.2$, 进而依据式 (11) 和 (12) 计算得到各信息流的内部权重分别为 $\omega_1 = 0.396$, $\omega_2 = 0.274$, $\omega_3 = 0.330$.

3) 最终结论的求解.

在此基础上, 将各信息流的优胜度矩阵及内部权重进行线性加权, 由式 (14) 得到最终的优胜度矩阵为

$$S = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.627 & 0.463 & 0.430 & 0.551 \\ 0.373 & 0.500 & 0.399 & 0.400 & 0.541 \\ 0.537 & 0.601 & 0.500 & 0.325 & 0.683 \\ 0.570 & 0.600 & 0.675 & 0.500 & 0.541 \\ 0.449 & 0.459 & 0.317 & 0.459 & 0.500 \end{bmatrix}.$$

依据式 (1), 得到各区域可能性排序为 $o_4 \succ^{0.675} o_3 \succ^{0.537} o_1 \succ^{0.627} o_2 \succ^{0.541} o_5$, 即区域 4 以 0.675 的概率优于区域 3, 综合绩效最好.

4) 比较分析.

为验证本文方法的有效性, 分别将本文方法的排序结论与各信息流单独的排序结论、文献 [18] 的排序结论进行比较分析, 结果见表 5.

由表 5 可以看出: 1) 与文献 [18] 相较而言, 两种方法中区域 4 均排在第 1 位, 但本文方法中区域 4 优于其他区域绩效的概率略高, 除区域 4 外, 其余 4 个区域在两种方法中的排名也均存在差异; 2) 本文方法所得排序中相邻区域之间优胜概率的差异比文献 [18] 更加明显; 3) 区域综合排名的趋势与信息

表4 信息支流影响度、被影响度及外部权重

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}
f_z^a	6.607	9.014	8.723	8.628	8.967	7.717	3.707	3.775	4.740	2.000	2.000	3.000
e_z^a	9.187	7.155	9.445	8.407	7.207	8.254	3.815	3.649	4.757	4.000	4.000	9.000
ω_z^a	0.149	0.158	0.202	0.178	0.158	0.156	0.280	0.273	0.447	0.241	0.241	0.518

表5 区域绩效评价排序结论对比

方法	区域绩效评价排序结论
信息流1	$o_4 \succ^{0.664} o_1 \succ^{0.775} o_3 \succ^{0.510} o_5 \succ^{0.647} o_2$
信息流2	$o_4 \succ^{0.549} o_3 \succ^{0.720} o_1 \succ^{0.553} o_2 \succ^{0.553} o_5$
信息流3	$o_2 \succ^{0.518} o_3 \succ^{1.000} o_5 \succ^{0.518} o_1 \succ^{0.518} o_4$
本文方法	$o_4 \succ^{0.675} o_3 \succ^{0.537} o_1 \succ^{0.627} o_2 \succ^{0.541} o_5$
文献[18]所提方法	$o_4 \succ^{0.652} o_1 \succ^{0.637} o_5 \succ^{0.532} o_3 \succ^{0.556} o_2$

流1和信息流2的整体趋势基本一致,而与信息流3差异较大.

通过对12位评价者所提供的原始评价信息及各信息支流的随机模拟结果的分析可以发现,上述差异与区域的发展特点和评价者的关注重点密切相关.具体而言,区域1的经济发展较为突出,而社会与环境发展较弱;区域2除环境发展略好外,整体发展情况均不乐观;区域3整体发展较好且均衡;区域4经济发展极为突出,且无明显劣势;区域5社会发展状况良好,但经济与环境发展较弱.在具体的评价过程中,有两位评价者仅关注“环境质量改善水平”,并且给出了一致的评价信息,共识度高,导致环境方面(第3条信息流)的内部权重相对较大,而区域2的环境发展相对较好,因此在本文给出的排序中区域2的排名超过了区域5.此外,第1条信息流(线性集结,突出“特长发展”)中的信息支流较多,意味着在评价过程中更多关注“优势指标”,因此在本文的排序中经济发展极为突出的区域4的相对优势比较明显(优胜概率略高),且整体发展较好的区域3排在了仅经济发展较好的区域1之前.

综合本文的最终排序结论可知,本文方法更好地兼顾了群体的共识判断,原因是基于信息支流的优胜矩阵相似度确定的内部权重给予了共识度高的信息流更大的权重系数,从而提升了最终评价结论的群体共识度.再者,由于本文方法考虑了信息支流的相互影响程度,相比文献[18]直接对信息流进行求解(未单独考虑信息支流),本文信息支流外部权重的加入更加细腻地区分了不同评价参与者的评价信息和判断意见,即融入了更多的不同优胜概率判断信息到最终的优胜度矩阵中,因此提升了不同区域之间的优胜概率差异.

4.2 算例2

该算例选用文献[19]中的球队实力评估问题,进一步表明本文方法的有效性及其特点.邀请6名评价参与者,包括两位专家(e_1, e_2)、两位球员(e_3, e_4)以及两位球迷(e_5, e_6),对4支球队(记为 o_1, o_2, o_3, o_4)的综合实力进行评价.评价者所提供的信息

详见文献[19],此处不再赘述.

对框架中的各信息支流进行随机模拟仿真,得到各支流优胜度矩阵.由式(1)求解得到4支球队实力优劣的可能性排序,分别为

$$\begin{aligned}
 e_1 : o_2 &\succ^{0.704} o_1 \succ^{1.000} o_3 \succ^{0.863} o_4, \\
 e_2 : o_2 &\succ^{0.921} o_4 \succ^{0.640} o_1 \succ^{0.935} o_3, \\
 e_3 : o_3 &\succ^{1.000} o_2 \succ^{0.697} o_1 \succ^{0.543} o_4, \\
 e_4 : o_4 &\succ^{1.000} o_3 \succ^{0.514} o_2 \succ^{0.896} o_1, \\
 e_5 : o_4 &\succ^{1.000} o_3 \succ^{1.000} o_2 \succ^{0.693} o_1, \\
 e_6 : o_2 &\succ^{1.000} o_3 \succ^{1.000} o_1 \succ^{1.000} o_4.
 \end{aligned}$$

计算各信息支流外部权重,并将其与各信息支流优胜度矩阵线性加权得到各信息流的优胜度矩阵为

$$\begin{aligned}
 S^1 &= \begin{bmatrix} 0.500 & 0.148 & 0.967 & 0.680 \\ 0.852 & 0.500 & 1.000 & 0.961 \\ 0.033 & 0.000 & 0.500 & 0.599 \\ 0.320 & 0.039 & 0.401 & 0.500 \end{bmatrix}, \\
 S^2 &= \begin{bmatrix} 0.500 & 0.204 & 0.000 & 0.270 \\ 0.793 & 0.500 & 0.243 & 0.371 \\ 1.000 & 0.757 & 0.500 & 0.500 \\ 0.730 & 0.629 & 0.500 & 0.500 \end{bmatrix}, \\
 S^3 &= \begin{bmatrix} 0.500 & 0.153 & 0.000 & 0.500 \\ 0.847 & 0.500 & 0.500 & 0.500 \\ 1.000 & 0.500 & 0.500 & 0.500 \\ 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

依据式(8)~(12)计算得到各信息流的内部权重分别为 $\omega^1 = 0.434, \omega^2 = 0.309, \omega^3 = 0.257$,最终的优胜度矩阵为

$$S = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.167 & 0.420 & 0.508 \\ 0.832 & 0.500 & 0.638 & 0.660 \\ 0.580 & 0.362 & 0.500 & 0.543 \\ 0.492 & 0.340 & 0.457 & 0.500 \end{bmatrix}.$$

依据式(1)可得4支球队综合实力优劣的可能性排序为: $o_2 \succ^{0.638} o_3 \succ^{0.581} o_1 \succ^{0.508} o_4$.

与文献[19]所得结论 $o_2 \succ^{0.596} o_3 \succ^{0.561} o_4 \succ^{0.517} o_1$ 相比可知,依据本文方法所得结论球队 o_1 和 o_4 的排序出现了反转,二者之间的优胜概率减小,同时球队 o_2 和 o_3 的优胜概率显著提高.结合各信息支流优胜度矩阵,深入探究排序反转和优胜概率变化的原因可以发现:1)本文方法更好地兼顾了专家共识(信息支流中有4位评价者给出了 o_1 优于 o_4 的排序结论),通过综合考虑专家群体的意见一致性,使得这些具有共识性的信息在结果中得到了充分的体现,从而导致了 o_1 与 o_4 排序的反转.这种对专家共识的考虑,因充分兼顾了群体意见的整体趋势,使得决策结论更容易为多数评价者所接受.2)本文方法通过权重

的分配,使得那些具有较高影响力的专家的意见在最终结果中占据更重要的地位,能够在一定程度上凸显被评价对象之间的差异。

综上所述,本文方法具有兼顾专家共识与凸显差异的双重特征。与文献[19]方法相比,本文方法通过更好地整合专家群体的意见,使得评价结论更加符合多数专家的判断偏好,因此也更容易被评价者所接受。同时,能够将专家信息影响力作为另一因素融入信息集成框架的求解中,提升结论可信度的同时增加并补充了体现被评价对象之间差异的信息维度,可为择优决策提供更加明晰的判断依据。

4.3 进一步说明

为便于比较分析,本文应用算例仅针对常见的混合评价信息与方法进行了探讨,但给出的信息集成框架构建原则、流程及求解思路对非数据类信息(如文本、语音、图像信息等)也具有广泛的适用性,只是需要在信息转化环节专门研究针对此类信息的随机转化方法,这也是未来研究中的一个重要关注点。

通过以上应用算例的比较分析可以看出:本文方法与已有类似的集成方法的联系与区别主要体现在以下3个方面:1)本文方法是在已有类似方法基础上的继承性探索,结合已有研究系统总结并归纳了混合信息集成框架的构建原则和流程,为不同评价环节混合信息的分类整合与有效集成提供了科学依据;2)与已有研究中信息权以主观设置为主不同,本文方法从客观视角进一步拓展了信息权的求解方法,丰富了信息集成框架的求解思路与方法体系;3)相比于已有方法侧重于信息集成框架的高效求解算法研究,本文方法融入了对专家信息影响力及共识度等更多因素的考虑,使得求解过程更贴近现实需求,拓宽了信息集成框架的实践应用范围。

此外,本文所提出方法不仅适用于多类型、多结构混合信息共存的综合评价问题,同时也适用于大规模混合信息群体评价问题,尤其是求解过程中对专家共识的考虑可加速大规模群体信息的收敛过程,节约计算成本。本研究中对专家信息影响关系的探讨可以进一步拓展至动态群决策情形,用于支撑评价参与者之间的动态交互过程。综上可知,本文方法在允许多样性及个性化表达判断意见的复杂多属性决策、(大规模)群决策、民主决策等问题中有着较好的应用前景。

5 结论

针对多类型、多结构混合信息共存的综合评价

问题,本文首先总结归纳了混合信息集成框架构建时应遵循的主要原则与基本流程,提出了一种兼顾影响力与共识度的信息集成框架求解方法。本文的评价模型以混合信息集成框架为基础,将优胜度矩阵的计算分解到信息支流层面,采用随机模拟技术得到信息支流的优胜度矩阵;然后利用DEMATEL算法和序关系分析法求解信息支流的外部权重和信息流的内部权重,赋权过程兼顾了专家信息的影响力与共识度;最后将信息权与各信息流的优胜度矩阵线性加权,完成混合评价信息集成框架的整合求解,并得到被评价对象之间带有优劣概率信息的可能性排序结论。

与已有研究中的信息集成框架的求解方法相比,本文提出的方法具有以下3个方面的主要特征:1)将优胜度矩阵的模块化求解分解到信息支流层面,进一步简化了信息集成框架的随机模拟求解过程,有效提升了求解效率;2)在信息集成框架的求解中,通过外部权重的设计加入了对信息支流之间相互影响程度的考虑,以此区分不同信息支流中评价者判断意见之间的影响力,实现了信息集成框架的细腻化求解;3)信息权的求解过程中融入对评价者群体共识的考虑,进一步提升了最终评价结论的共识程度及评价者的可接受程度。

本文研究进一步丰富和拓展了混合信息集成框架的构建及求解方法,可为群体参与的民主决策等复杂问题的解决提供方法支撑。在确定信息支流的外部权重时,仅考虑了同一信息流内部各信息支流之间的相互影响程度,不同信息流内信息支流及不同信息流之间的相互影响力测度是进一步研究中需要深入探讨的重点问题。此外,动态情境中专家影响力的分析及包含非数据类信息等多模态数据的随机转化、集成求解问题,也是未来研究中的关注点,此类问题的有效解决对进一步拓展混合信息集成框架的应用范围与服务能力具有重要的实践意义。

参考文献 (References)

- [1] 易平涛,李伟伟,郭亚军.综合评价理论与方法[M].第2版.北京:经济管理出版社,2019.
(Yi P T, Li W W, Guo Y J. Comprehensive evaluation theory and methods[M]. The 2nd edition. Beijing: Economy & Management Publishing House, 2019.)
- [2] Lv C C, Bian B C, Lee C C, et al. Regional gap and the trend of green finance development in China[J]. *Energy Economics*, 2021, 102: 105476.
- [3] 褚菲,郝莉莉,王福利.复杂工业过程运行状态评价方法回顾与展望[J].控制与决策,2024,39(3):705-718.
(Chu F, Hao L L, Wang F L. Review and prospect of

- operation performance assessment methods for complex industrial processes[J]. *Control and Decision*, 2024, 39(3): 705-718.)
- [4] 曹宇, 李国杰. 考虑多重决策心理的海岛孤网调度综合评价[J]. *控制与决策*, 2022, 37(6): 1591-1600.
(Cao Y, Li G J. Comprehensive evaluation of island isolated microgrid dispatch considering multiple decision psychology[J]. *Control and Decision*, 2022, 37(6): 1591-1600.)
- [5] 杨敏, 费锡玥, 魏宇琪, 等. 基于资源共享与子系统交互的两阶段 DEA 评价方法 —— 兼对我国“一流大学”科研绩效的评价[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(2): 256-263.
(Yang M, Fei X Y, Wei Y Q, et al. Two-stage DEA evaluation method based on resource sharing and subsystem interaction — Evaluation of scientific research performance for “First-Class” universities in China[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(2): 256-263.)
- [6] 胡英杰, 朱建军. 考虑量子干涉的信任网络群体共识决策方法[J]. *控制与决策*, 2024, 39(12): 4007-4016.
(Hu Y J, Zhu J J. Group consensus decision-making method for trust networks considering quantum interference[J]. *Control and Decision*, 2024, 39(12): 4007-4016.)
- [7] 蒋翠清, 许天歌, 王钊. 一种融入拒绝推断的 P2P 网络借贷违约风险评价方法[J]. *管理工程学报*, 2020, 34(6): 165-172.
(Jiang C Q, Xu T G, Wang Z. An approach to default risk assessment combined with reject inference in online peer-to-peer lending[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2020, 34(6): 165-172.)
- [8] 王露, 易平涛, 李伟伟. 多源不确定信息的随机模拟聚合评价方法及应用[J]. *中国管理科学*, 2024, 32(5): 103-112.
(Wang L, Yi P T, Li W W. Stochastic simulation integrated method for multi-source uncertain information and its application[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2024, 32(5): 103-112.)
- [9] 李洪燕, 樊治平. 群体决策中两种不同偏好信息的集成方法[J]. *东北大学学报*, 2000, 21(3): 336-338.
(Li H Y, Fan Z P. Integrated approach to two kind of preference information in group decision making[J]. *Journal of Northeastern University*, 2000, 21(3): 336-338.)
- [10] 陈华友, 刘春林. 群决策中基于不同偏好信息的相对熵集成方法[J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2005, 35(2): 311-315.
(Chen H Y, Liu C L. Relative entropy integration method based on different preference information in group decision making[J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2005, 35(2): 311-315.)
- [11] Peng D H, Gao C Y, Wu L X. TOPSIS-based multi-criteria group decision making under heterogeneous information setting[J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 378/379: 525-530.
- [12] 李伟伟, 易平涛, 郭亚军. 混合评价信息的随机转化方法和应用[J]. *控制与决策*, 2014, 29(4): 753-758.
(Li W W, Yi P T, Guo Y J. Blended evaluation information random transformation method and its application[J]. *Control and Decision*, 2014, 29(4): 753-758.)
- [13] 张发明, 杨杰, 王伟明. 大规模混合信息下的群体评价方法及应用[J]. *模糊系统与数学*, 2017, 31(3): 96-102.
(Zhang F M, Yang J, Wang W M. Under the large scale blend information of group evaluation method and application[J]. *Fuzzy Systems and Mathematics*, 2017, 31(3): 96-102.)
- [14] 张卓. 混合信息的多属性决策研究[J]. *计算机与数字工程*, 2014, 42(12): 2433-2438.
(Zhang Z. Multiple attribute decision-making for hybrid information[J]. *Computer & Digital Engineering*, 2014, 42(12): 2433-2438.)
- [15] Csaszar F A, Eggers J P. Organizational decision making: An information aggregation view[J]. *Management Science*, 2013, 59(10): 2257-2277.
- [16] 孙永河, 韩玮, 段万春. 复杂系统 DEMATEL 算法研究进展评述[J]. *控制与决策*, 2017, 32(3): 385-392.
(Sun Y H, Han W, Duan W C. Review on research progress of DEMATEL algorithm for complex systems[J]. *Control and Decision*, 2017, 32(3): 385-392.)
- [17] 易平涛, 李伟伟, 郭亚军. 随机模拟型综合评价模式及其求解算法[J]. *运筹与管理*, 2014, 23(6): 222-228.
(Yi P T, Li W W, Guo Y J. Stochastic simulation model of comprehensive evaluation and the solution[J]. *Operations Research and Management Science*, 2014, 23(6): 222-228.)
- [18] 易平涛, 李伟伟, 郭亚军. 泛综合评价信息集成框架求解算法及应用[J]. *中国管理科学*, 2015, 23(10): 131-138.
(Yi P T, Li W W, Guo Y J. Information integrated framework and its algorithm of generic comprehensive evaluation and the applications[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2015, 23(10): 131-138.)
- [19] Li W W, Yi P T, Zhang D N, et al. Stochastic-integration-based decision support methods for heterogeneous multi-attribute group decision making with several attribute sets[J]. *Expert Systems with Applications*, 2023, 234: 121100.
- [20] 李伟伟, 易平涛, 郭亚军. 多方参与政府绩效评价的模式、方法及求解[J]. *系统工程*, 2014, 32(10): 105-111.
(Li W W, Yi P T, Guo Y J. The evaluation model, method and algorithm of government performance evaluated by multi-participants[J]. *Systems Engineering*, 2014, 32(10): 105-111.)
- [21] 何世繁, 潘晓宏, 王应明. 基于异质在线评论信息的多准则决策方法研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2024, 44(4): 1349-1364.
(He S F, Pan X H, Wang Y M. Research on multi-

- criteria decision-making method based on heterogeneous online reviews[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2024, 44(4): 1349-1364.)
- [22] Stöckli D R, Khobzi H. Recommendation systems and convergence of online reviews: The type of product network matters![J]. *Decision Support Systems*, 2021, 142: 113475.
- [23] 彭张林, 张爱萍, 王素凤, 等. 综合评价指标体系的设计原则与构建流程[J]. *科研管理*, 2017, 38(S1): 209-215.
(Peng Z L, Zhang A P, Wang S F, et al. Design principle and construction process of comprehensive evaluation index system[J]. *Science Research Management*, 2017, 38(S1): 209-215.)
- [24] 周德群, 章玲. 集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究[J]. *管理科学学报*, 2008, 11(2): 20-26.
(Zhou D Q, Zhang L. Establishing hierarchy structure in complex systems based on the integration of DEMATEL and ISM[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2008, 11(2): 20-26.)
- [25] 王伟明, 邓潇, 徐海燕. 基于三维密度算子的群体 DEMATEL 指标权重确定方法[J]. *中国管理科学*, 2021, 29(12): 179-190.
(Wang W M, Deng X, Xu H Y. A new index weights calculation method of group DEMATEL based on three-dimensional density operator[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2021, 29(12): 179-190.)
- [26] 韩玮, 孙永河, 缪彬. 不完备判断信息情境下群组 DEMATEL 决策方法[J]. *中国管理科学*, 2021, 29(5): 231-239.
(Han W, Sun Y H, Miao B. A group DEMATEL decision-making method with incomplete judgment information[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2021, 29(5): 231-239.)
- [27] 崔强, 武春友, 匡海波. BP-DEMATEL 在空港竞争力影响因素识别中的应用[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(6): 1471-1478.
(Cui Q, Wu C Y, Kuang H B. Influencing factors research of airports competitiveness based BP-DEMATEL model[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2013, 33(6): 1471-1478.)
- [28] 王学军, 郭亚军. 基于 G1 法的判断矩阵的一致性分析[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(3): 65-70.
(Wang X J, Guo Y J. Analyzing the consistency of comparison matrix based on G1 method[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2006, 14(3): 65-70.)
- [29] 张发明. 区间标度群组序关系评价法及其运用[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(3): 720-725.
(Zhang F M. Interval scales rank correlation analysis group evaluation method and its application[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2013, 33(3): 720-725.)
- [30] 迟国泰, 齐菲, 李刚. 改进群组 G1 组合赋权的省级科学发展评价模型及应用[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(6): 1448-1457.
(Chi G T, Qi F, Li G. The evaluation model of scientific development concept for Chinese provinces based on combination weighting of improved Group-G1 and its application[J]. *Systems Engineering — Theory & Practice*, 2013, 33(6): 1448-1457.)

作者简介

李伟伟 (1986-), 女, 副教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为综合评价, E-mail: liww@mail.neu.edu.cn;

崔文龙 (2000-), 男, 硕士生, 主要研究方向为综合评价, E-mail: Cui_wl2000@163.com;

易平涛 (1981-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为综合评价, E-mail: ptyi@mail.neu.edu.cn;

董乾坤 (1995-), 男, 博士, 主要研究方向为综合评价, E-mail: dongqian_k@163.com;

李真明 (1985-), 男, 博士生, 主要研究方向为综合评价, E-mail: rjm_1985128@163.com.