



专家交互情境下不完备群组DEMATEL决策方法

孙永河, 张思雨, 缪彬

引用本文:

孙永河, 张思雨, 缪彬. 专家交互情境下不完备群组DEMATEL决策方法[J]. 控制与决策, 2020, 35(12): 3066–3072.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0353>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

无人飞行器航迹方案的VIKOR择优评价

Unmanned aerial vehicle path scheme optimal evaluation based–VIKOR

控制与决策. 2020, 35(12): 2950–2958 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0415>

考虑时间序列的动态大群体应急决策方法

Dynamic large group emergency decision–making method considering time series

控制与决策. 2020, 35(11): 2609–2618 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0088>

基于高炉炉况评价和反馈补偿的喷煤量决策优化

Decision–making optimization of coal injection volume based on evaluation of blast furnace condition

控制与决策. 2020, 35(11): 2803–2809 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1553>

基于前景理论和模糊理论的在线多属性采购拍卖 供应商选择决策

Decision method of supplier selection for online multi–attribute procurement auction based on prospect theory and fuzzy theory

控制与决策. 2020, 35(11): 2637–2645 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1768>

基于行为流图的可信交互检测方法

Trustworthy interaction detection method based on user behavior flow diagram

控制与决策. 2020, 35(11): 2715–2722 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1618>

专家交互情境下不完备群组DEMATEL决策方法

孙永河[†], 张思雨, 缪彬

(昆明理工大学 管理与经济学院, 昆明 650093)

摘要: 为克服现有群组 DEMATEL 存在的尚未考虑群组专家之间的信息交互、对于不完备专家判断信息的推断机理不明确等缺陷, 基于社交网络中的信任关系理论和凝聚层次聚类理论, 通过给出不完备群组 DEMATEL 初始直接影响矩阵残缺值的推断方法和专家交互情境下群组 DEMATEL 直接影响矩阵信息修正方法, 提出专家交互情境下不完备群组 DEMATEL 决策方法的实现步骤. 最后, 通过算例对比分析反映出通过专家多轮次交互, 群组专家之间的共识度以及决策结果的可靠性持续提升, 从而验证了所提出方法的科学性和可行性.

关键词: 群组 DEMATEL; 不完备信息; 专家交互; 共识度

中图分类号: C934

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2019.0353

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 孙永河, 张思雨, 缪彬. 专家交互情境下不完备群组 DEMATEL 决策方法[J]. 控制与决策, 2020, 35(12): 3066-3072.

Incomplete group DEMATEL decision-making method under expert interaction context

SUN Yong-he[†], ZHANG Si-yu, MIAO Bin

(Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Existing group decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) has drawbacks, such as information interaction between group experts is ignored and the inference mechanism for incomplete expert judgment information is unclear. To overcome the abovementioned drawbacks, based on the trust relationship theory in social networks and the agglomerative hierarchical clustering theory, the implementation steps for the incomplete group DEMATEL under expert interaction context are ultimately proposed by giving the inference method of missing values in the incomplete initial direct influence matrix (DIM) and the information correction method for DIM under the expert interaction context of the group DEMATEL. Finally, through the comparative analysis for a numerical example, it is reflected that the consensus degree between group experts and reliabilities of decision results are continuously improved through the experts' multiple rounds of interaction, thus the proposed method is validated to be feasible and scientific.

Keywords: group DEMATEL; incomplete information; expert interaction; consensus degree

0 引言

近年来, 决策试行与评价实验室 (DEMATEL) 作为面向复杂社会经济系统问题的因素分析算法, 受到国内外学者的广泛关注. 迄今, 虽然诸多学者从基础理论、方法交叉融合等方面对传统 DEMATEL 方法进行了思考和完善^[1-3], 但针对群组 DEMATEL 的深入研究则并不多见. 从已有成果来看, 绝大多数 DEMATEL 文献直接假设专家能够给出完备判断信息, 事实上, 受专业背景、前期经验、知识宽度、能力智慧等限制, 专家对于复杂问题往往给出的是不完备的判断信息. 文献 [4] 虽然认识到不确定和不

完备 DEMATEL 问题, 提出了基于 D 数理论的扩展 DEMATEL 方法 (即 D-DEMATEL), 通过引入隶属度来评估影响程度, 将不完备群组偏好信息进行集成, 但该文并未给出处理不完备 DEMATEL 问题的决策机制. 尽管文献 [5] 已对 D-DEMATEL 予以了局部改进, 但仍缺乏 DEMATEL 直接影响矩阵 (direct influence matrix, DIM) 不完备信息的推断机理, 并且专家判断信息集成结果也不合理. 其原因在于: 缺失的判断信息不一定无价值, 将其忽略并直接集成判断信息显然有失偏颇. 另外, 系统考虑群组 DEMATEL 的专家交互机理是提升专家判断信息可靠性的一个

收稿日期: 2019-03-25; 修回日期: 2019-09-05.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71561015); 云南省应用基础研究项目 (2016FB116).

[†]通讯作者. E-mail: syhch@126.com.

重要技术关键. 通过提供专家交互环境、科学设计交互规则, 便于专家之间相互启发、拓展分析视野、提升认知深度, 从而增强各专家分析判断的相对可靠性. 然而, 从收集到的文献来看, 关于交互式群组DEMATEL的研究目前尚未见报道.

由此可见, 系统探索专家交互情境下不完备群组DEMATEL决策方法的相关理论是一项有重要科学价值的研究课题. 为此, 本文在不完备判断信息推断、专家分组交互的基础上, 对群组DEMATEL中的DIM信息进行修正, 给出专家交互情境下不完备群组DEMATEL决策方法的实现步骤.

1 问题描述

设一个群组DEMATEL决策问题包括 m 位专家(记为 $e^1, e^2, \dots, e^m$)和 n 个系统影响因素(记为 $c_1, c_2, \dots, c_n$). m 位专家由系统内部和外部专家共同组成. 受专业背景、知识经验等所限, 专家可能难以给出对某些因素之间直接影响关系的判别结果, 则称该专家给出的DIM为不完备群组DEMATEL初始DIM. 不妨记专家 e^k 给出的不完备初始DIM为 $\hat{A}^k = [\hat{a}_{ij}^k]_{n \times n}$, $\hat{a}_{ij}^k \in \{0, 1, 2, 3, 4, -\}$, $k = 1, 2, \dots, m$. 其中0表示无影响, 1、2、3、4分别表示影响小、影响适中、影响大、影响极大, “-”表示专家难以给出判断结果.

2 专家交互情境下不完备群组DEMATEL决策方法

2.1 不完备群组DEMATEL初始直接影响矩阵残缺值推断

邢长友等^[6]研究指出, P2P网络中兴趣相似的节点从彼此获得所需服务的可能性较大, 因而建立直接信任关系的可能性也较大. 类似地, 在不完备群组DEMATEL决策中, 观点相近的专家从彼此获得所需判断值的可能性较大, 从而建立彼此之间的直接信任关系具有可操作性; 因此, 基于社交网络信任关系相关理论, 利用专家判断相似度完善信任网络图是可行的. 鉴于此, 这里吸纳Kamis等^[7]提出的专家偏好余弦相似度概念, 给出如下关于不完备群组DEMATEL初始DIM的余弦相似度矩阵定义.

定义1 记 e^{k_1}, e^{k_2} 为群组DEMATEL决策专家集 $E(E = \{e^1, e^2, \dots, e^m\})$ 中的任意两位专家, 他们所给出的DIM之间的余弦相似度可表示为

$$s^{k_1 k_2} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij}^{k_1} a_{ij}^{k_2})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij}^{k_1})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij}^{k_2})^2}}, \quad (1)$$

反映 m 位专家给出的不完备群组DEMATEL初始DIM的余弦相似度矩阵可表示为 $S = (s^{k_1 k_2})_{m \times m}$.

基于上述理论认识, 下面给出不完备群组DEMATEL初始DIM中残缺值推断的步骤.

step 1: 构建余弦相似度矩阵. 由不完备初始直接影响矩阵 $\hat{A}^1, \hat{A}^2, \dots, \hat{A}^m$ 中已有的判断信息, 由定义1构建出矩阵 S .

step 2: 绘制专家信任网络图. 首先, 由各专家给出对其余专家的信任程度判断, 按照文献[8-9]方法绘制初始专家信任网络图 $\hat{G}(E, B)$, 其中 B 表示 E 中元素的有序对; 然后, 识别出 E 中无箭头指出的专家集 E^D , 并基于矩阵 S 分别找出与 E^D 中各专家判断相似度最大的专家, 同时为两位专家提供交互环境, 交互结束后由两位专家基于交互信息给出对彼此的信任值, 将新增(或更新)信任关系添加到 $\hat{G}(E, B)$ 中, 得到最终反映不完备群组DEMATEL专家之间信任关系的网络图 $G(E, B)$.

step 3: 估计基于专家信任关系的残缺值. 从 $G(E, B)$ 中识别出由专家 e^p 到其余专家 e^k ($k = 1, 2, \dots, p-1, p+1, \dots, m$)的所有信任传递路径 $\{L_l | l = 1, 2, \dots, R\}$, 依据Liu等^[10]所提出方法得出经各路径传递的 e^p 对 e^k 的信任值 $u_1^{pk}, u_2^{pk}, \dots, u_R^{pk}$, 则 e^p 对 e^k 的综合信任值为

$$u^{pk} = \sum_{l=1}^R w_l u_l^{pk}. \quad (2)$$

其中: $w_l = Q\left(\frac{\tau}{R}\right) - Q\left(\frac{\tau-1}{R}\right)$; $\tau = 1, 2, \dots, R$, 表示对各路径按结点数进行升序排序后各路径的序号^[9]. 按照文献[8], 专家 e^p 对 e^k 的相对信任值为

$$v^{pk} = \frac{u^{pk}}{\sum_{i=1, i \neq p}^m u^{pi}}. \quad (3)$$

记由专家 e^p 给出的矩阵 $\hat{A}^p$ 中残缺的元素为 $\hat{a}_{ij}^p$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), 则由下式计算出反映专家 e^p 对其余专家信任关系的残缺值:

$$a_{ij}^{p1} = \sum_{k=1, k \neq p}^m v^{pk} \hat{a}_{ij}^k. \quad (4)$$

step 4: 估计基于判断相似度的残缺值. 借鉴Wu等^[9]提出的估计不完备值的思路, 由矩阵 S 和 $\hat{a}_{ij}^k$ ($k = 1, 2, \dots, p-1, p+1, \dots, m$), 可估计出反映专家 e^p 与其余专家判断相似关系的残缺值. 具体表达式为

$$a_{ij}^{p2} = \sum_{k=1, k \neq p}^m (s^{pk} \hat{a}_{ij}^k) / \sum_{k=1, k \neq p}^m s^{pk}. \quad (5)$$

step 5: 推断最终残缺值. 联立式(4)和(5), 按下式

推断出最终的残缺值:

$$a_{ij}^p = \frac{a_{ij}^{p1} + a_{ij}^{p2}}{2}. \quad (6)$$

与上述过程类似,可以推断出其他专家不完备初始直接影响矩阵中的残缺值,从而形成完备群组 DEMATEL 直接影响矩阵. 为便于后文表达,记由第 k 位专家给出的完备直接影响矩阵为 $A^k = [a_{ij}^k]_{n \times n}$, $a_{ij}^k \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$.

2.2 专家交互情境下群组 DEMATEL 直接影响矩阵信息修正

目前关于群组 DEMATEL 的文献不是直接采用均值法集成各专家判断,就是笼统地指出由群组专家共同研讨给出判断信息. 在此情境下显然缺乏专家交互或清晰的交互机制. 因此,有必要提供专家交互环境、科学设计交互规则,以便各专家之间能够深入交换意见,通过相互启发取长补短,从而持续提升群组专家判断共识度和决策质量.

文献[11-12]指出:完全、无异议的群共识在实践中通常很难达到,而且无必要;相比较而言,柔性共识模型更能表征人们对共识本质的感知. 鉴于此,给出如下交互情境下群组 DEMATEL 专家判断共识度定义.

定义2 记第 r 轮交互后群组 DEMATEL 专家判断共识度为

$$CS_r = \frac{\sum_{k_1=1}^m \sum_{k_2=1}^m s^{k_1 k_2} - m}{m^2 - m}. \quad (7)$$

其中: $r = 1, 2, \dots, \theta$, θ 为专家交互轮次上限.

基于上述理论认知,下面提出基于凝聚层次聚类群组 DEMATEL 中 DIM 信息修正方法. 其步骤如下.

step 1: 确定最适专家分组. 已知专家交互前各专家给出的直接影响矩阵 $A_{r-1}^1, A_{r-1}^2, \dots, A_{r-1}^m$ 之间的余弦相似度矩阵为 S_{r-1} . 首先,运用基于全链度量准则的凝聚层次聚类方法^[13],绘制出群组 DEMATEL 专家聚类树形图. 然后,由专家组讨论确定第 r 轮交互时可接受的单次参与(组内、组间)讨论的专家人数上限 $M_r \in \{2, 3, \dots, m\}$,以及组内任意两专家之间的最小共识度 $MCS_r \in [0, 1]$,在此基础上参照专家聚类树形图选择合适的 α_l 级别,在该 α_l 级别上水平切割树形图得到第 r 轮交互的最适专家分组,记为 $E' = \{E_r^1, E_r^2, \dots, E_r^l\}$.

step 2: 进行专家分组交互. 首先,各组专家开展组内讨论,彼此交换意见,并进行观点整合. 组内讨论结束后由各组选出本组专家代表,分别记为 $e^{\nu_1}, e^{\nu_2}, \dots, e^{\nu_l}$,记第 ρ ($\rho = 1, 2, \dots, l$) 组专家代表

e^{ν_ρ} 给出的群组 DEMATEL 直接影响矩阵为 $A_{r-1}^{\nu_\rho}$. 然后,由各组专家代表进行组间交互,考虑到专家对反馈意见的接受度会影响交互过程,为佐证所提观点的合理性,提供论据支撑以说服他人采纳自己的观点是非常重要的^[14]. 因此,本文在实施专家交互时要求遵循证据支撑原则,具体实施方法为:交互过程中,每位专家在发表各自观点时必须提供支撑其观点的相应证据,其他专家可对该专家发表的意见和证据进行评议,但也要相应的证据支撑,证据支撑和评判可参考“多伯特规则”.

step 3: 确定修正参考矩阵. 第 r 轮组间交互结束后,由各专家代表决定对其余专家代表给出的直接影响矩阵的参考比例,记专家代表 e^{ν_ρ} 给出的参考比例为 $\xi_r^{\nu_1}, \dots, \xi_r^{\nu_{\rho-1}}, \xi_r^{\nu_{\rho+1}}, \dots, \xi_r^{\nu_l}$,且 $\sum_{q=1, q \neq \rho}^l \xi_r^{\nu_q} = 1$ ($\xi_r^{\nu_q} \in [0, 1]$),则其确定的修正参考矩阵为

$$RA_r^\rho = \sum_{q=1, q \neq \rho}^l \xi_r^{\nu_q} A_{r-1}^{\nu_q}. \quad (8)$$

step 4: 修正直接影响矩阵. 由专家代表将修正参考矩阵信息反馈给所在小组,各组成员自行决定其直接影响矩阵修正比例,并完成修正. 记 E_r^ρ 中第 x ($x = 1, \dots, \#E_r^\rho$, $\#E_r^\rho$ 为 E_r^ρ 中的专家数) 位专家 $e^{\nu_{\rho,x}}$ 所确定的矩阵修正比例为 $\varphi_r^{\nu_{\rho,x}}$,且 $\varphi_r^{\nu_{\rho,x}} \in [0, 1]$,则其直接影响矩阵的修正机理如下:

$$A_{r-1}^{\nu_{\rho,x}} = (1 - \varphi_r^{\nu_{\rho,x}}) A_{r-1}^{\nu_{\rho,x}} + \varphi_r^{\nu_{\rho,x}} RA_r^\rho. \quad (9)$$

命题1 设 CS_{r-1} 、 CS_r 分别为完成第 $r-1$ 轮和第 r 轮交互后的群组 DEMATEL 专家判断共识度,有

$$CS_r \geq CS_{r-1}. \quad (10)$$

联立式(8)和(9)易证命题1成立,此处不再赘述.

2.3 专家交互情境下不完备群组 DEMATEL 决策方法实现步骤

在上述基础上,下面给出交互情境下不完备群组 DEMATEL 决策方法步骤.

step 1: 邀请各专家独立给出系统因素间的不完备群组 DEMATEL 的初始直接影响矩阵 $\hat{A}^1, \hat{A}^2, \dots, \hat{A}^m$. 依据 Dong 等^[15]、Saaty^[16] 关于共识度阈值的确定原则,专家组应充分考虑决策问题的资金成本控制、时间约束及专家组成员构成等因素,从区间 $[0.9, 0.99]$ 中选择合适的群组专家判断共识度阈值 λ ,并确定专家组交互轮数上限 θ .

step 2: 推断不完备群组 DEMATEL 初始 DIM 中的残缺值. 按 2.1 节方法完成 $\hat{A}^1, \hat{A}^2, \dots, \hat{A}^m$ 中残缺值的推断,得出各专家相应的完备群组 DEMATEL 直接影响矩阵 $A_0^1, A_0^2, \dots, A_0^m$.

step 3: 令交互轮次 $r = 1$.

step 4: 进行专家分组交互并修正直接影响矩阵信息. 按照 2.2 节方法开展第 r 轮专家交互, 完成群组 DEMATEL 直接影响矩阵信息修正, 得到各专家经过意见交互和判断修正后给出的直接影响矩阵 $A_r^1, A_r^2, \dots, A_r^m$.

step 5: 判断是否达到专家交互终止条件. 第 r 轮交互结束后, 先由式 (7) 计算共识度 CS_r ; 然后判断 CS_r 是否达到相应阈值 λ 或交互轮次 r 是否达到上限 θ , 若是, 则转下一步; 否则令 $r = r + 1$, 返回 step 4, 进行下一轮专家分组交互.

step 6: 集成群组专家判断信息. 经过多轮意见交互和判断修正, 专家组对 DIM 判断结果达成一定程度共识. 记 m 位专家给出的最终 DIM 分别为 $A^1, A^2, \dots, A^m$, 则由下式求出集成专家判断信息的群组 DEMATEL 直接影响矩阵:

$$A = [a_{ij}]_{n \times n} = \left(\sum_{k=1}^m A^k \right) / m, \forall i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

step 7: 将矩阵 A 规范化, 从而构建出综合影响矩阵, 并求解系统各因素的中心度和原因度, 再通过绘制因果关系图进行系统因素分析, 详见文献 [3].

3 算例分析

3.1 背景概述

某传统养老机构计划向医养结合型养老机构转型, 经相关专家研究讨论, 确定出影响转型的 5 个因素为: 医疗保障能力 (c_1)、养老服务水平和质量 (c_2)、运营管理能力 (c_3)、资金保障能力 (c_4)、基础设施状况 (c_5), 并邀请 7 位熟悉养老产业的专家 (记为 $e^1, e^2, \dots, e^7$, 其中 e^1, e^2, e^3 来自该机构, e^4, e^5 来自当地某知名医养结合型养老机构, e^6, e^7 来自高校) 对因素之间的直接影响关系进行判断, 7 位专家给出的不完备初始直接影响矩阵记为 $\hat{A}^1, \hat{A}^2, \dots, \hat{A}^7$.

$$\hat{A}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 3 & 0 & 3 \\ 4 & 3 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}, \hat{A}^2 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 4 & 0 & 4 \\ 3 & 0 & 3 & 0 & - \\ 4 & 1 & 0 & 4 & 2 \\ 2 & -1 & 0 & 4 \\ 3 & 0 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\hat{A}^3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 3 & 3 & 3 \\ 3 & 4 & 0 & 0 & - \\ 4 & 3 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 3 & 0 \end{bmatrix}, \hat{A}^4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 3 & 1 & 3 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 0 & 3 & 3 \\ 1 & -2 & 0 & 3 \\ 2 & 0 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\hat{A}^5 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 4 & -1 \\ 4 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 4 & 4 \\ 4 & 2 & 1 & 0 & 4 \\ 1 & 1 & 4 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \hat{A}^6 = \begin{bmatrix} 0 & 4 & 2 & 0 & 3 \\ 4 & 0 & 4 & 1 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 2 & 1 \\ -4 & 4 & 0 & 2 \\ 3 & 1 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\hat{A}^7 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 4 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 4 & -1 \\ 2 & 3 & 0 & 2 & 3 \\ 4 & 2 & 3 & 0 & 4 \\ 2 & 2 & 3 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

3.2 不完备群组 DEMATEL 初始直接影响矩阵残缺值推断

按照定义 1 构建出矩阵 $\hat{A}^1, \hat{A}^2, \dots, \hat{A}^7$ 间的余弦相似度矩阵为

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0.692 & 0.758 & 0.742 & 0.690 & 0.755 & 0.844 \\ 0.692 & 1 & 0.664 & 0.867 & 0.840 & 0.871 & 0.869 \\ 0.758 & 0.664 & 1 & 0.779 & 0.656 & 0.682 & 0.861 \\ 0.742 & 0.867 & 0.779 & 1 & 0.830 & 0.811 & 0.894 \\ 0.690 & 0.840 & 0.656 & 0.830 & 1 & 0.738 & 0.904 \\ 0.755 & 0.871 & 0.682 & 0.811 & 0.738 & 1 & 0.860 \\ 0.844 & 0.869 & 0.861 & 0.894 & 0.904 & 0.860 & 1 \end{bmatrix}.$$

接下来, 绘制专家间初始信任网络图 $\hat{G}(E, B)$, 然后根据 2.1 节中信任网络图构建方法对 $\hat{G}(E, B)$ 进行完善, 最终得出完善后的信任网络图 $G(E, B)$, 参见图 1. 其中新增信任关系用粗箭头予以反映.

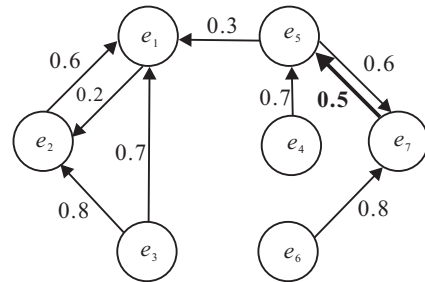


图 1 完善后的专家信任网络图

结合矩阵 S 及图 1, 按照 2.1 节残缺值推断方法推断出各残缺值: $a_{14}^1 = 1, a_{25}^2 = 0, a_{42}^2 = 2, a_{35}^3 = 2, a_{42}^4 = 2, a_{14}^5 = 1, a_{41}^6 = 3, a_{24}^7 = 1$, 从而得出完备群组 DEMATEL 直接影响矩阵 $A_0^1, A_0^2, \dots, A_0^7$.

3.3 共识度阈值确定及多轮次交互后各系统因素中心度、原因度计算

专家组经过商讨之后, 确定群组共识度阈值 $\lambda = 0.95$, 交互轮数上限 $\theta = 3$. 由式 (1) 计算矩阵 $A_0^1, A_0^2, \dots, A_0^7$ 间的余弦相似度矩阵 S_0 , 并在此基础上按式 (7) 求出群组专家判断共识度 CS_0 为 0.794, 未达到共识度阈值 λ , 因此需按照 2.2 节方法进行专家

分组交互.

当进入第1轮交互时($r = 1$),首先基于 S_0 对专家组进行凝聚层次聚类分析,专家组经讨论确定 $M_1 = 4$,得到最适专家分组为 $E' = \{E_1^1, E_1^2, E_1^3, E_1^4\}$.其中 $E_1^1 = \{e^4, e^5, e^7\}$, $E_1^2 = \{e^2, e^6\}$, $E_1^3 = \{e^1\}$, $E_1^4 = \{e^3\}$.接下来,各专家组先进行内部交互后选出的专家代表分别为 e^7, e^6, e^1, e^3 ,再由专家代表进行组间交互,按照交互规则经过充分交互后,各专家代表给出对其他专家代表直接影响矩阵的参考比例矩阵 ξ .进一步,由式(8)可求出各专家代表所确定的修正参考矩阵 $RA_1^1, RA_1^2, \dots, RA_1^4$.最后,各专家代表按式(9)完成信息修正,得出修正后的直接影响矩阵 $A_1^1, A_1^2, \dots, A_1^7$.

$$\xi = \begin{matrix} e_1 \\ e_3 \\ e_6 \\ e_7 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.3 & 0 & 0.3 & 0.4 \\ 0.2 & 0.2 & 0 & 0.6 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}, A_1^1 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 3 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 0 & 2 & 1 \\ 4 & 2 & 3 & 0 & 3 \\ 3 & 3 & 2 & 2 & 0 \end{bmatrix},$$

$$A_1^2 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 4 & 1 & 3 \\ 2 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & 2 & 0 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & 2 & 0 & 4 \\ 3 & 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix}, A_1^3 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 4 & 0 & 1 & 2 \\ 4 & 3 & 3 & 0 & 3 \\ 2 & 2 & 3 & 2 & 0 \end{bmatrix},$$

$$A_1^4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 3 & 1 & 3 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 0 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 0 & 3 \\ 2 & 1 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}, A_1^5 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 4 & 1 & 1 \\ 3 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 3 & 3 \\ 4 & 2 & 1 & 0 & 4 \\ 1 & 1 & 4 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$A_1^6 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 3 & 1 & 3 \\ 3 & 0 & 4 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 0 & 2 & 2 \\ 4 & 3 & 4 & 0 & 3 \\ 3 & 2 & 3 & 1 & 0 \end{bmatrix}, A_1^7 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 4 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 4 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 0 & 2 & 3 \\ 4 & 2 & 3 & 0 & 4 \\ 2 & 2 & 3 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

在 $A_1^1, A_1^2, \dots, A_1^7$ 数据基础上,求解它们之间的相似度矩阵 S_1 ,并且按式(7)计算出第1轮交互后群组专家判断共识度 CS_1 为0.924,显然仍未达到共识度阈值和交互轮次上限,需继续交互.

当第2轮专家交互时($r = 2$),与上述过程相类似,可计算出第2轮专家交互结束后的群组专家共识度 CS_2 为0.972,显然已达到共识度阈值,此时停止交互并按式(11)求出集成群组专家判断信息的直接影响矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 0 & 2 & 2 \\ 4 & 2 & 3 & 0 & 3 \\ 2 & 2 & 3 & 2 & 0 \end{bmatrix}.$$

由矩阵 A 信息及DEMATEL方法步骤,得到专家两轮交互后系统因素的中心度和原因度,详见表1.

表1 专家交互两轮后各系统因素的中心度和原因度

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
中心度	5.535	5.159	6.428	5.648	5.372
原因度	-0.489	-0.663	-0.801	1.617	0.336

由表1可知,系统各因素的中心度排序为 $c_3 \succ c_4 \succ c_1 \succ c_5 \succ c_2$,显然, c_3 中心度最大. c_4 、 c_5 为原因因素,其余为结果因素,其中 c_3 受其他因素影响的程度最大, c_2 次之.系统因素之间的因果关系如图2所示.

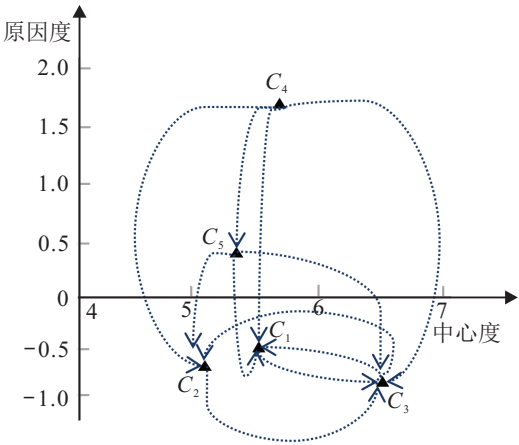


图2 专家交互两轮后系统因素间的因果关系

3.4 对比分析

为进一步验证本文方法的有效性,下面将专家无交互、交互一轮、交互两轮的群组DEMATEL的中心度和原因度(参见表2,其中原因因素用下划线标出)予以对比分析.

表2 专家不同交互轮数下群组DEMATEL决策方法的结果比较

交互轮次	共识度	中心度排序	原因度排序
无交互	0.794	$c_3 \succ c_1 \succ c_2 \succ c_4 \succ c_5$	<u>c_4</u> $\succ$ <u>c_5</u> $\succ$ $c_1 \succ c_2 \succ c_3$
交互一轮	0.924	$c_3 \succ c_1 \succ c_2 \succ c_4 \succ c_5$	<u>c_4</u> $\succ$ <u>c_5</u> $\succ$ $c_1 \succ c_3 \succ c_2$
交互两轮	0.972	$c_3 \succ c_4 \succ c_1 \succ c_5 \succ c_2$	<u>c_4</u> $\succ$ <u>c_5</u> $\succ$ $c_1 \succ c_2 \succ c_3$

由表2可知,从专家无交互到交互轮次的逐渐增加,群组专家判断共识度不断提升.专家第1轮交互后,虽然系统因素中心度排序保持不变,但是,一方面因素 c_2 (养老服务水平和质量)和 c_3 (运营管理能力)的原因度排序次序发生了变化;另一方面, c_5 (基础设施状况)从结果因素突变为原因因素,反映出基础设施状况是转型期养老服务机构必须体现的“硬实力”,该因素对于系统其他因素产生重要影响是合理的.专家第2轮交互后,此时系统因素中心度排序次序发生了变化,因素 c_4 (资金保障能力)从第4位跃居为第2位,成为仅次于因素 c_3 的第2核心因素.由于养老服务机构投资回报期较长,尤其是处于转型期的养老机构更亟需大量资金的持续投入,因此这一排序结果显然是符合现实情境的.从原因度大小及排序结果来看,专家第2轮交互后,与第1轮交互后的结果相比,原因因素和结果因素并未发生变化,仅因素 c_2 、因素 c_3 的排序次序与第1轮交互后的结果相比发生了逆转,说明对该养老服务机构而言,专家组更认可“养老服务水平和质量”比“运营管理能力”对其他因素的综合影响程度更大.上述分析结果也得到了该养老机构负责人的高度认可,说明本文所提出方法是行之有效的.

为进一步验证本文所提出方法的科学合理性,下面将本文所提出的交互情境下群组专家共识达成模型与文献[9]中的共识模型进行对比:

1) 按照文献[9]的算法,需经过4轮判断矩阵修正群组专家间的共识度才能达到所设定的阈值0.95,显然与本文方法相比所需矩阵修正轮次较多;

2) 当共识度阈值由0.75增加到0.85、0.95时,分别计算出两种方法在不同群共识水平下的系统因素中心度和原因度.

在此基础上,可绘制出两种方法相应的系统因素分析结果相对于共识度阈值变化的敏感性分析图,参见图3和图4(其中结果因素用带阴影的方框予以表示).显然由图3、图4可知,随着共识度水平的不断提高,两种方法相应的系统因素中心度与原因度均产生不同程度的变化,但相比较而言,本文方法更易于体现出系统因素分析结果对于共识度阈值变化的敏感性,更能体现出养老服务复杂系统的非线性、动态性等本质特征.

综上所述,无论从方法在不同交互轮次下的结果比较,还是与文献[9]共识度模型的对比分析来看,本文提出的交互情境下不完备群组DEMATEL方法均是科学合理的.

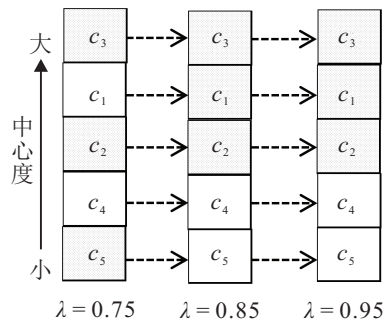


图3 文献[9]的系统因素分析结果对共识度阈值变化的敏感性分析

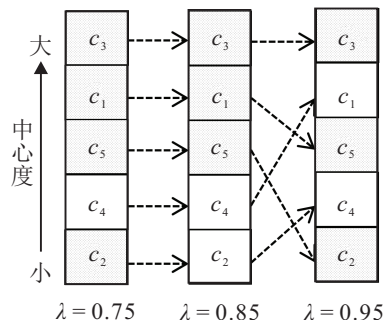


图4 本文系统因素分析结果对于共识度阈值变化的敏感性分析

4 结论

DEMATEL作为一种复杂系统因素分析方法,近年来在系统工程、管理科学领域得到了专家学者的广泛关注.然而,从群组DEMATEL相关研究成果看,目前主要存在以下两点不足:

1) 现有文献尚未考虑交互情境下群组DEMATEL问题.事实上,在独立判断情境下各专家受专业背景、前期经验、知识宽度、能力智慧等所限,给出的直接影响矩阵中的部分信息可能是不可靠的,从而导致最终决策结果的可信度降低.另外,尽管有少数文献含糊地指出群组专家需共同对群组DEMATEL因素之间的直接影响关系进行判断,但在此情境下群组专家之间是否能够达成共识,具体的共同判断机理是什么?这些核心问题均未见任何理论解释.

2) 绝大多数文献直接假设专家能够给出所有的群组DEMATEL判断信息,而对于现实情境下有可能出现的专家不完备判断信息则关注较少,迄今仍缺乏科学严谨的不完备群组DEMATEL信息推断机理.

为克服上述缺陷,本文基于社交网络中的信任关系和凝聚层次聚类理论,提出了专家交互情境下不完备群组DEMATEL决策方法.其创新之处在于:1) 系统探索了不完备群组DEMATEL初始直接影响矩阵残缺值的推断方法;2) 给出了专家交互情境下群组DEMATEL直接影响矩阵信息修正机理,提升了各专

家判断信息的可靠性. 算例分析结果表明, 本文方法是科学可行的, 有着较强的实践应用推广价值.

参考文献(References)

- [1] Du Y W, Zhou W. New improved DEMATEL method based on both subjective experience and objective data[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2019, 83: 57-71.
- [2] Aaldering L J, Leker J, Song C H. Analyzing the impact of industry sectors on the composition of business ecosystem: A combined approach using ARM and DEMATEL[J]. *Expert Systems with Applications*, 2018, 100: 17-29.
- [3] 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 process of DEMATEL algorithm for complex systems[J]. *Control and Decision*, 2017, 32(3): 385-392.)
- [4] Zhou X Y, Shi Y Q Y, Deng X Y, et al. D-DEMATEL: A new method to identify critical success factors in emergency management[J]. *Safety Science*, 2017, 91: 93-104.
- [5] Lin S S, Li C B, Xu F Q, et al. Risk identification and analysis for new energy power system in China based on D numbers and decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL)[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 180: 81-96.
- [6] 邢长友, 杨莉, 张毓森, 等. 一种基于域推荐相似度的P2P信任模型[J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2012, 42(5): 803-807.
(Xing C Y, Yang L, Zhang Y S, et al. Domain recommendation similarity based P2P trust model[J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2012, 42(5): 803-807.)
- [7] Kamis N H, Chiclana F, Levesley J. Preference similarity network structural equivalence clustering based consensus group decision making model[J]. *Applied Soft Computing*, 2017, 67: 706-720.
- [8] Dong Y C, Zha Q B, Zhang H J, et al. Consensus reaching in social network group decision making: Research paradigms and challenges[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2018, 162: 3-13.
- [9] Wu J, Chang J L, Cao Q W, et al. A trust propagation and collaborative filtering based method for incomplete information in social network group decision making with type-2 linguistic trust[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 127: 853-864.
- [10] Liu B S, Zhou Q, Ding R X, et al. Large-scale group decision making model based on social network analysis: Trust relationship-based conflict detection and elimination[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 275(2): 737-754.
- [11] Herrera-Viedma E, Cabrerizo F J, Kacprzyk J, et al. A review of soft consensus models in a fuzzy environment[J]. *Information Fusion*, 2014, 17: 4-13.
- [12] Dong Y C, Zhao S H, Zhang H J, et al. A self-management mechanism for noncooperative behaviors in large-scale group consensus reaching processes[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2018, 26(6): 3276-3288.
- [13] Roux M. A comparative study of divisive and agglomerative hierarchical clustering algorithms[J]. *Journal of Classification*, 2018, 35(2): 345-366.
- [14] Pérez I J, Cabrerizo F J, Alonso S, et al. On dynamic consensus processes in group decision making problems[J]. *Information Sciences*, 2018, 459: 20-35.
- [15] Dong Q X, Cooper O. A peer-to-peer dynamic adaptive consensus reaching model for the group AHP decision making[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 250(2): 521-530.
- [16] Saaty T L. A ratio scale metric and the compatibility of ratio scales: The possibility of arrow's impossibility theorem[J]. *Applied Mathematics Letters*, 1994, 7(6): 51-57.

作者简介

孙永河(1978—), 男, 教授, 博士生导师, 从事复杂管理决策等研究, E-mail: syhch@126.com;

张思雨(1996—), 女, 硕士生, 从事管理决策的研究, E-mail: zhangsiyu5768@163.com;

缪彬(1975—), 男, 副教授, 博士, 从事信息融合的研究, E-mail: 7659485@qq.com.

(责任编辑: 孙艺红)