

# 控制与决策

Control and Decision

## 群体决策中基于最小成本的个体偏好策略操纵模型研究

刘亚婷, 徐维军, 陈霞, 董玉成

引用本文:

刘亚婷, 徐维军, 陈霞, 等. 群体决策中基于最小成本的个体偏好策略操纵模型研究[J]. *控制与决策*, 2026, 41(2): 445-454.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2025.0801>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 考虑碳限额的制造/再制造混合系统生产优化决策

Production optimization decision of manufacturing/remanufacturing under carbon emission permits  
*控制与决策*. 2021, 36(9): 2249-2256 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1457>

#### 考虑社会网络邻接关系的群体判断矩阵决策方法

Group preference relations decision making approach based on social network adjacency relations  
*控制与决策*. 2021, 36(4): 983-992 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0817>

#### 考虑社会网络邻接关系的群体判断矩阵决策方法

Group preference relations decision making approach based on social network adjacency relations  
*控制与决策*. 2021, 36(4): 983-992 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0817>

#### 考虑附加情绪的两阶段投资组合前景决策模型

Two-stage portfolio prospect decision model considering additional emotion  
*控制与决策*. 2021, 36(3): 724-732 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0565>

#### 基于鲁棒优化的云医疗资源配置问题

Robust optimization based medical resource allocation problem in cloud healthcare system  
*控制与决策*. 2021, 36(2): 469-474 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0455>

# 群体决策中基于最小成本的个体偏好策略操纵模型研究

刘亚婷<sup>1</sup>, 徐维军<sup>2,3†</sup>, 陈霞<sup>4</sup>, 董玉成<sup>5</sup>

(1. 西安理工大学 经济与管理学院, 西安 710048; 2. 华南理工大学 工商管理学院, 广州 510641;  
3. 大湾区数智金融与风险管理研究基地, 广州 510641; 4. 电子科技大学 公共管理学院, 成都 611731;  
5. 四川大学 商学院, 成都 610065)

**摘要:** 假设存在一个不诚实的协调者, 从最小成本的视角研究群体决策中的个体偏好策略操纵问题. 首先, 提出群体决策中的个体偏好策略操纵问题, 以及成功操纵决策结果时的最小成本测量方法; 然后, 建立基于最小成本的个体偏好策略操纵模型, 该模型能够在协调者操纵方案排序结果的同时最小化个体的偏好信息调整; 接着, 通过线性转化对模型进行求解分析; 进一步地, 分别建立加权平均 (WA) 和有序加权平均 (OWA) 下最小成本的个体偏好操纵模型, 通过对模型设置不同的预期目标, 比较 WA 与 OWA 集结函数的防操纵性能; 最后, 采用一个数值案例对所提出模型的有效性进行验证, 并设计两个实验仿真分别比较决策者数量和方案数量变化, 对于 WA 和 OWA 集结函数防范个体偏好策略操纵性能的影响.

**关键词:** 群体决策; 策略操纵; 个体偏好; 最小成本; 优化模型

中图分类号: C934 文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2025.0801

引用格式: 刘亚婷, 徐维军, 陈霞, 等. 群体决策中基于最小成本的个体偏好策略操纵模型研究 [J]. 控制与决策, 2026, 41(2): 445-454.

## Strategic manipulation model on individual preference with minimum cost in group decision making

LIU Ya-ting<sup>1</sup>, XU Wei-jun<sup>2,3†</sup>, CHEN Xia<sup>4</sup>, DONG Yu-cheng<sup>5</sup>

(1. School of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China; 3. Greater Bay Intelligent Finance and Risk Management Research Base, Guangzhou 510641, China; 4. School of Public Administration, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China; 5. Business School, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Assuming that there exists a dishonest coordinator, this paper studies the strategic manipulation problem in group decision making from a minimal cost perspective. First, a problem of manipulation individual preference with minimum cost in group decision making, and an approach of measuring minimum cost to obtain the coordinator's desired alternative ranking are presented. Then, a strategic manipulation model on individual preference with minimum cost is developed to manipulate the ranking of alternatives. Furthermore, we establish the strategic manipulation model under weighted average (WA) and ordered weighted average (OWA), respectively. By setting different objective function value of the model, the performance of WA and OWA defending against strategic manipulation is compared. Finally, a numerical case is adopted to validate the effectiveness of proposed models, and two simulation experiments are designed to compare the impacts of changes in the number of decision-makers and the number of alternatives on the robustness of the WA and OWA aggregation functions against strategic manipulation of individual preferences.

**Keywords:** group decision making; strategic manipulation; individual preferences; minimum cost; optimization model

收稿日期: 2025-08-01; 录用日期: 2025-10-14.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (72271095, 72304199, 72271171); 陕西省科技计划项目 (2024JC-YBQN-0743); 陕西社会科学基金项目 (2024R046).

责任编辑: 李登峰.

†通信作者. E-mail: xuwj@scut.edu.cn.

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.

## 0 引言

群体决策 (GDM) 研究如何将不同背景领域的决策者, 对个体关于方案的偏好信息汇集成群体偏好, 进而对方案进行排序或选择<sup>[1-3]</sup>. 目前, 群体决策在政治、经济和文化等各领域的管理活动中均具有非常广泛的应用<sup>[4-9]</sup>.

目前, 群体决策的相关研究主要关注群体偏好集结和群体决策结果两个方面: 1) 群体偏好集结的研究主要关注群体集结方法<sup>[10-11]</sup>, 如加权平均 (WA)、序加权平均 (OWA)、理想点法 (TOPSIS)、折中排序法 (VIKOR)、消去与选择转换法 (ELECTRE) 以及优先级别排序法 (PROMETHEE) 等. 近年来, 王彪等<sup>[12]</sup>提出了基于前景理论的多阶段多情景多部门应急决策的矩阵方法, 王景瑞等<sup>[13]</sup>提出了一种融合邻域粗糙集与 SA 的多模态三支决策模型, Dong 等<sup>[14]</sup>研究了群体决策中基于公理化距离函数的群体偏好集结模型. 2) 群体决策结果的研究主要关注群体决策结果的共识达成<sup>[15-16]</sup>.

在群体决策过程中, 往往包含多个决策者, 他们经常被认为是诚实的, 通过提供自己关于方案的客观偏好信息获得一个理想的群体决策结果. 但是, 在现实的群体决策过程中, 经常存在一些不诚实的决策者, 他们试图通过撒谎、欺骗等手段使得决策结果符合自身偏好, 称为策略操纵或非合作行为. 目前, 相关研究大致可从集结函数、共识达成以及大群体决策等方面来说明:

1) 群体偏好集结过程中策略操纵行为的研究<sup>[17-18]</sup>. 这类研究主要关注的是偏好集结对于策略操纵行为的影响. 如: Yager<sup>[17]</sup>通过改变群体集结方式来惩罚那些通过提供虚假偏好操纵决策结果的非合作行为; Xu 等<sup>[18]</sup>研究了群体决策中不同集结规则下, 非合作行为对于最小共识成本的影响.

2) 群体共识过程中策略操纵行为的研究<sup>[19-20]</sup>. 这类研究主要关注共识达成过程中, 策略操纵行为是如何发挥作用, 以及协调者如何对其进行管理的过程. 如: Jin 等<sup>[19]</sup>提出了一种基于前景理论的最小调整-最大熵反馈共识模型, 以防范社会网络多属性群决策中的专家权重策略操纵行为; Wang 等<sup>[20]</sup>研究了策略调整社会网络的操纵行为对于排序共识达成产生的影响, 并对其进行成本管理的过程.

3) 大群体环境下策略操纵行为的研究<sup>[21-22]</sup>. 这类研究主要关注大群体环境下共识达成过程中存在的策略操纵行为, 以及如何对其进行管理的过程. 如: Sun 等<sup>[21]</sup>提出了先通过构建信任-共识指数将大规模群体划分出子群, 进而建立权重惩罚反馈模型来

识别和管理那些具有非合作行为的子群; Xiong 等<sup>[22]</sup>基于信任和偏好历史数据对大规模群体进行聚类分组, 进而识别各组在信任维度和偏好维度上的策略操纵行为, 通过更新专家权重对其实施惩罚策略.

在群体决策过程中, 通常存在一个特殊的决策个体称为协调者. 已有研究大多假设协调者是诚实的, 其职责是通过与决策者沟通协商来识别和管理其他决策者的策略操纵和非合作行为, 从而推动形成客观的群体决策结果. 近年来, 尽管关于群体决策中策略操纵行为及其识别与管理的研究已取得了一定进展. 但是, 上述研究仍然存在如下问题需要解决:

1) 已有假设忽略了协调者是不诚实的, 自身可能参与策略操纵的风险. 一种常见的现象是, 协调者可能通过策略性地调整个体偏好信息来获得他/她想要的结果, 称为群体决策中的个体偏好操纵. 如: 在评估项目期间, 一个由 4 位评审专家组成的评审委员会需要从 4 个项目 (A、B、C 和 D) 中选出一个项目予以资助. 假设 4 位专家关于 4 个项目的偏好向量为 (1, 0, 0, 0), (0, 1, 0, 0), (0, 0, 1, 0), (0, 0, 0, 1), 其中 1 表示专家偏好资助某个项目. 假设 4 位专家权重相同, 通过加权平均可得到, 4 个项目综合评分相同均为 1/4. 在此期间, 若协调者是不诚实的, 假设他/她期望项目 A 获得资助, 则他/她可能会采取一定行为诱导偏好资助 B、C、D 的 3 位专家, 改变自己的偏好向量, 使得项目 A 获得资助.

2) 群体决策中个体偏好的策略操纵问题, 由于部分决策者可能不愿意改变自己关于方案的初始偏好向量, 这种个体偏好的调整往往意味着协调者需要付出一定成本 (时间、金钱等) 来诱导决策者调整其初始偏好向量. 显然, 调整幅度越小, 所需成本越低, 且由于协调者持有的资源有限, 成本越小越好. 因此, 需要建立最小成本的个体偏好策略操纵模型. 同时, 由于策略调整决策者偏好向量的操纵行为可能会产生不公平的决策结果, 若不对其加以控制, 则会严重影响社会的公平公正. 因此, 还需要设计一种方法来防范群体决策中的个体偏好策略操纵问题.

为解决上述问题, 本文从最小成本的视角研究群体决策中的个体偏好策略操纵问题, 主要内容如下:

1) 提出群体决策中的个体偏好策略操纵问题. 研究假设协调者是不诚实的, 他/她试图通过策略调整个体偏好信息, 使得群体决策结果达到协调者期望的方案排名.

2) 建立最小成本的个体偏好策略操纵模型. 从新的视角 (最小成本) 设计群体决策中的策略操纵规

划模型, 通过混合 0-1 线性转化的方式求解模型, 得到协调者成功操纵方案排名时策略调整的个体偏好信息.

3) 将 WA 和 OWA 两种不同的集结函数应用于所构建模型, 以防范群体决策中的个体偏好策略操纵行为, 并设计两个实验仿真, 分别比较分析决策者数量和方案数量变化, 对于 WA 和 OWA 防范个体偏好策略操纵行为性能的影响.

### 1 预备知识

本节主要介绍群体决策的求解过程, 提出个体偏好策略操纵问题.

令  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  为  $m$  个备选方案集合;  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_l\}$  为  $l$  个决策者集合;  $\Lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)^T$  为决策者权重向量, 其中  $\lambda_k \geq 0 (k = 1, 2, \dots, l)$  且  $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$ ;  $U_k = (u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{mk})^T$  为决策者  $e_k$  在方案  $A$  上的偏好向量,  $u_{ik} \in [0, 1]$  为决策者  $e_k$  关于方案  $a_i$  的效用值,  $u_{ik}$  值越大, 决策者  $e_k$  关于方案  $a_i$  有越高的偏好程度.

通常, 群体决策求解过程如下.

1) 群体偏好向量的集结.

$U = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T$  为群体偏好向量, 其中  $u_i$  为群体采取一个合适的集结函数  $F$ , 基于决策者权重向量  $\Lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)^T$ , 对  $u_{ik} (k = 1, 2, \dots, l)$  集结, 可得到

$$u_i = F_{\Lambda}(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{il}). \quad (1)$$

通常, 主要采用加权平均函数 (WA) 和有序加权平均函数 (OWA) 集结个体偏好向量, 即

$$u_i = WA(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{il}) = \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{ik}, \quad (2)$$

$$u_i = OWA(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{il}) = \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{i(k)}, \quad (3)$$

其中  $u_{i(k)}$  为  $(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{il})$  中第  $k$  大的值.

2) 方案排序.

令  $Q_i = \{a_j | u_j > u_i, j = 1, 2, \dots, m\}$  为偏好值大于方案  $a_i$  的方案集合,  $|Q_i|$  为集合  $Q_i$  的基数, 则方案  $a_i$  的排名位置可由  $r_i = |Q_i| + 1$  计算得到, 即

$$r_i = |\{a_j | u_j > u_i, j = 1, 2, \dots, m\}| + 1. \quad (4)$$

由式 (4), 可得到如下两个结论:

- 1) 若  $a_j \succ a_i \Leftrightarrow r_j < r_i$ , 则有  $a_j \succ a_i \Leftrightarrow u_j > u_i$ ;
- 2) 若  $a_j \preceq a_i \Leftrightarrow r_j \geq r_i$ , 则有  $a_j \preceq a_i \Leftrightarrow u_j \leq u_i$ .

在传统的群体决策过程中, 一般假设协调者是诚实的, 目的是通过选择合适的集结函数, 聚集决策

者关于方案的个体偏好信息, 得到群体偏好, 进而得到一组客观的方案排名. 但是, 在现实的决策过程中, 经常存在一些不诚实的协调者, 他们试图通过撒谎、欺骗等手段使得决策结果符合自身偏好, 称为策略操纵或非合作行为. 一种常见的方式是, 不诚实的协调者可能通过花费一定的成本 (如时间、金钱等) 诱导决策个体改变自身偏好, 达到操纵方案排名的目的, 称为群体决策中的个体偏好策略操纵问题. 问题框架如图 1 所示.

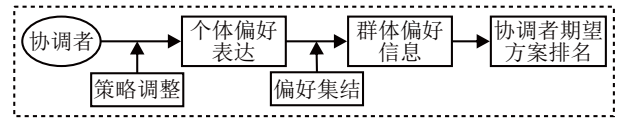


图1 群体决策中个体偏好操纵框架

## 2 群体决策中基于最小成本的个体偏好策略操纵模型及性质分析

本节主要通过构建模型, 求解模型获得策略的决策者偏好向量, 进而操纵群体决策结果, 获得协调者期望的方案排名.

### 2.1 模型构建

在群体决策个体偏好的策略操纵过程中, 协调者往往需要花费一定的成本使得决策者愿意改变自己关于方案的偏好信息, 进而获得自己期望的方案排名. 但是, 由于协调者所持有的成本有限, 显然成本越小越好, 因此, 本研究主要从最小成本的视角研究群体决策过程中个体偏好的策略操纵问题.

针对此研究, 首先构建一个群体决策中个体偏好策略操纵问题的求解框架, 如图 2 所示.

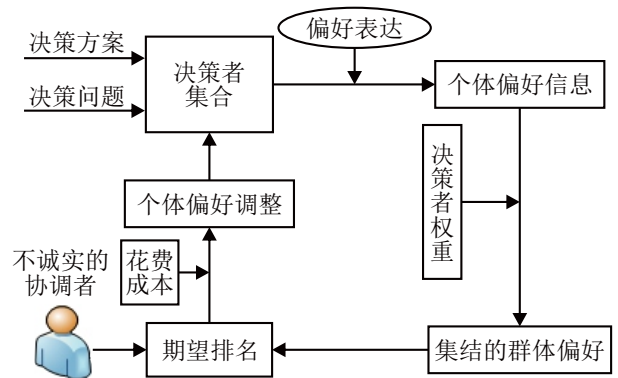


图2 群体决策中个体偏好策略操纵问题的求解框架

如图 2 所示, 该求解框架主要包含 3 个步骤:

1) 决策者初始客观偏好信息的表达. 在此过程中, 所有决策者基于自己的知识背景、经验等表达自己关于备选方案集合  $A$  的初始客观偏好向量.

2) 群体初始客观偏好向量的计算. 协调者通过选择合适的集结函数  $F$ , 基于决策者权重向量  $\Lambda$ , 汇

集决策者个体偏好向量得到群体偏好向量,进而获得备选方案的一个有序排名.

3) 协调者花费成本策略操纵方案排名. 在群体决策过程中,协调者可能是不诚实的,他/她希望操纵一些方案的排名来达到他/她期望的结果. 进而,协调者需要花费一定的成本,诱导决策者调整自己的初始客观偏好向量来达到操纵方案排名的目的.

其次,针对个体偏好向量的策略操纵过程中,由于协调者所持有的成本有限,成本越小越好. 接着,建立最小成本的个体偏好策略操纵模型来获得策略调整后决策者的偏好向量.

不失一般性,令协调者期望被操纵的方案集合为  $\{a_1, a_2, \dots, a_t\}$ ,  $\{r_1^*, r_2^*, \dots, r_t^*\}$  为协调者期望被操纵方案  $\{a_1, a_2, \dots, a_t\}$  的排名位置.  $U^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*)^T$  为策略调整后的群体偏好向量,其中  $u_i^* = F_A(u_{i1}^*, u_{i2}^*, \dots, u_{il}^*)$  由式 (1) 计算得到,则  $r_{iU^*}$  为被操纵方案  $a_i (i = 1, 2, \dots, t)$  在偏好向量  $U^*$  下的排名位置,如下所示:

$$r_{iU^*} = r_i^*, i = 1, 2, \dots, t. \quad (5)$$

令  $U_k^0 = (u_{1k}^0, u_{2k}^0, \dots, u_{mk}^0)^T$  为决策者  $e_k (k = 1, 2, \dots, l)$  关于备选方案集合  $A$  的初始客观偏好向量,  $U_k^* = (u_{1k}^*, u_{2k}^*, \dots, u_{mk}^*)^T$  为策略调整后决策者  $e_k (k = 1, 2, \dots, l)$  关于备选方案集合  $A$  的偏好向量.

令决策者  $e_k$  关于  $m$  个备选方案的初始客观偏好向量与策略调整后的偏好向量间的距离测量为

$$d(U_k^0, U_k^*) = \sum_{i=1}^m |u_{ik}^* - u_{ik}^0|. \quad (6)$$

受最小成本模型的启发,协调者调整决策者初始客观偏好向量时需要花费一定的成本. 令  $f_k$  为策略调整决策者  $e_k$  的初始偏好向量  $U_k^0$  后所花费的单位成本. 通常,单位成本用金钱、时间等来测量. 由此,调整决策者  $e_k$  偏好向量的成本函数可定义为单位成本与偏好向量调整距离的乘积  $f_k d(U_k^0, U_k^*)$ . 因此,调整决策者  $e_k$  的偏好向量的成本函数为

$$f_k d(U_k^0, U_k^*) = \sum_{i=1}^m f_k |u_{ik}^* - u_{ik}^0|. \quad (7)$$

由于协调者所持有的成本有限,显然成本越小越好,则有

$$\min \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m f_k |u_{ik}^* - u_{ik}^0|. \quad (8)$$

由式 (5) ~ (8), 所建立最小成本的个体偏好策略操纵规划模型为

$$\begin{aligned} & \min \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m f_k |u_{ik}^* - u_{ik}^0|. \\ & \begin{cases} r_{iU^*} = r_i^*, i = 1, 2, \dots, t; & (9a) \\ U^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*)^T; & (9b) \\ u_i^* = F_A(u_{i1}^*, u_{i2}^*, \dots, u_{il}^*). & (9c) \end{cases} \end{aligned}$$

其中  $u_{ik}^* (i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, l)$  为决策变量. 通过求解规划模型 (9), 可得到策略调整后决策者  $e_k$  关于  $m$  个备选方案的个体偏好向量. 上述规划模型 (9) 中, 本文解决的技术难点主要包含两个方面:

1) 如何设定策略的决策者偏好向量可使得被操纵方案的排名符合协调者的期望? 模型 (9) 中, 约束条件 (9a) ~ (9c) 的设定解决了这一技术难点.

2) 如何保证协调者在成功操纵方案排名时所采用的成本最小? 模型 (9) 中, 极小化的目标函数解决了这一技术难点.

最后, 为方便阅读和清楚地表明模型 (9) 的求解过程, 给出如下符号:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ :  $m$  个备选方案集合, 其中  $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$  为第  $i$  个方案;

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_l\}$ :  $l$  个决策者集合, 其中  $e_k (k = 1, 2, \dots, l)$  为第  $k$  个决策者;

$\Lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l)^T$ : 决策者权重向量, 其中  $\lambda_k \geq 0 (k = 1, 2, \dots, l)$  且  $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$ ;

$\{a_1, a_2, \dots, a_t\}$ : 协调者期望被操纵方案的集合, 其中  $\{a_1, a_2, \dots, a_t\} \subseteq A$ ;

$\{r_1^*, r_2^*, \dots, r_t^*\}$ : 协调者期望被操纵方案  $\{a_1, a_2, \dots, a_t\}$  的排序集合, 其中  $r_i^*$  为被操纵方案  $a_i (i = 1, 2, \dots, t)$  的期望排名;

$U_k^0 = (u_{1k}^0, u_{2k}^0, \dots, u_{mk}^0)^T$ : 决策者  $e_k$  提供的初始客观偏好向量, 其中  $u_{ik}^0$  为第  $k$  个决策者关于备选方案  $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$  的偏好值;

$U^0 = (u_1^0, u_2^0, \dots, u_m^0)^T$ : 决策群体的初始客观偏好向量, 其中  $u_i^0$  为决策群体关于备选方案  $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$  的初始客观偏好值;

$\{r_{1U^0}, r_{2U^0}, \dots, r_{tU^0}\}$ : 决策群体初始客观偏好向量  $U^0$  下, 被操纵方案  $\{a_1, a_2, \dots, a_t\}$  的初始客观排名;

$U_k^* = (u_{1k}^*, u_{2k}^*, \dots, u_{mk}^*)^T$ : 策略调整后决策者  $e_k$  的偏好向量, 其中  $u_{ik}^*$  为策略调整后第  $k$  个决策者  $e_k$  关于备选方案  $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$  的偏好值;

$U^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*)^T$ : 策略调整后的群体偏好向量, 其中  $u_i^*$  为策略调整后决策群体关于备选方案  $a_i (i = 1, 2, \dots, m)$  的偏好值;

$\{r_{1U^*}^*, r_{2U^*}^*, \dots, r_{tU^*}^*\}$ : 策略调整后的群体偏好向量  $U^*$  下, 被操纵方案  $\{a_1, a_2, \dots, a_t\}$  的期望排名;

$f_k$ : 策略调整决策者  $e_k$  的初始客观偏好向量  $U_k^0$  时所花费的单位成本.

### 2.2 模型求解及其性质

本节采用混合 0-1 整数线性规划 (MILP) 的方法来获得规划模型 (9) 的最优解.

首先, 引入二元变量  $y_{ij} \in [0, 1]$  和一个无穷大的数  $M$ , 则有:

1)  $a_j \succ a_i$ , 当且仅当  $u_j > u_i - (1 - y_{ij})M$  和  $u_j \leq u_i + y_{ij}M$  且  $y_{ij} = 1$ ;

2)  $a_j \preceq a_i$ , 当且仅当  $u_j \leq u_i + y_{ij}M$  和  $u_j > u_i - (1 - y_{ij})M$  且  $y_{ij} = 0$ .

进而, 引入如下引理 1 和引理 2.

**引理 1** 当  $F$  采用 WA 函数时, 若存在  $U_k^* = (u_{1k}^*, u_{2k}^*, \dots, u_{mk}^*)^T$ , 满足如下约束条件:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{jk}^* > \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{ik}^* - (1 - y_{ij}^{WA})M, \\ i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (10a)$$

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{jk}^* \leq \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{ik}^* + y_{ij}^{WA}M, \\ i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (10b)$$

$$\begin{cases} y_{ij}^{WA} = 1 \text{ or } 0, i = 1, 2, \dots, t, \\ j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (10c)$$

$$\sum_{j=1}^m y_{ij}^{WA} = r_i^*, i = 1, 2, \dots, t; \quad (10d)$$

$$\begin{cases} 0 \leq u_{ik}^* \leq 1, i = 1, 2, \dots, m, \\ k = 1, 2, \dots, l. \end{cases} \quad (10e)$$

则  $r_{iU^*} = r_i^* (i \in \{1, 2, \dots, t\})$ .

**引理 2** 当  $F$  采用 OWA 函数时, 若存在  $U_k^* = (u_{1k}^*, u_{2k}^*, \dots, u_{mk}^*)^T$ , 满足如下约束条件:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{j(k)}^* > \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{i(k)}^* - (1 - y_{ij}^{OWA})M, \\ i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (11a)$$

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{j(k)}^* \leq \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{i(k)}^* + y_{ij}^{OWA}M, \\ i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (11b)$$

$$\begin{cases} y_{ij}^{OWA} = 1 \text{ or } 0, i = 1, 2, \dots, t, \\ j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (11c)$$

$$\sum_{j=1}^m y_{ij}^{OWA} = r_i^*, i = 1, 2, \dots, t; \quad (11d)$$

$$\begin{cases} 0 \leq u_{ik}^* \leq 1, i = 1, 2, \dots, m, \\ k = 1, 2, \dots, l. \end{cases} \quad (11e)$$

则  $r_{iU^*} = r_i^* (i \in \{1, 2, \dots, t\})$ .

基于引理 1 和引理 2, 提出下文定理 1 来具体说明模型 (9) 的求解过程.

**定理 1** 令  $b_k = |u_{ik}^* - u_{ik}^0|$ , 则:

1) 当  $F$  为 WA 函数时, 模型 (9) 可转化为如下 MILP 模型:

$$\min \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m f_k b_k. \quad (12a)$$

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{jk}^* > \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{ik}^* - (1 - y_{ij}^{WA})M, \\ i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (12b)$$

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{jk}^* \leq \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{ik}^* + y_{ij}^{WA}M, \\ i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (12c)$$

$$\begin{cases} y_{ij}^{WA} = 1 \text{ or } 0, i = 1, 2, \dots, t, \\ j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (12d)$$

$$\sum_{j=1}^m y_{ij}^{WA} = r_i^*, i = 1, 2, \dots, t; \quad (12e)$$

$$b_k \geq u_{ik}^* - u_{ik}^0, k = 1, 2, \dots, l; \quad (12f)$$

$$-b_k \leq u_{ik}^* - u_{ik}^0, k = 1, 2, \dots, l; \quad (12g)$$

$$\begin{cases} 0 \leq u_{ik}^* \leq 1, i = 1, 2, \dots, m, \\ k = 1, 2, \dots, l. \end{cases} \quad (12h)$$

2) 在式 (12) 中, 用下文式 (13i) 和 (13j) 代替式 (12b) 和 (12c):

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{j(k)}^* > \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{i(k)}^* - (1 - y_{ij}^{OWA})M, \\ i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, m; \end{cases} \quad (13i)$$

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{j(k)}^* \leq \sum_{k=1}^l \lambda_k u_{i(k)}^* + y_{ij}^{OWA}M, \\ i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, m. \end{cases} \quad (13j)$$

若  $F$  为 OWA 函数, 则模型 (9) 可转化为一个新的 MLPM.

本文中, 式 (12) 记为模型  $P_1$ , 式 (12) 和 (13) 中的 (c) ~ (j) 记为模型  $P_2$ . 模型  $P_1$  和模型  $P_2$  中:  $u_{ik}^*$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ),  $y_{ij}^{WA}$ 、 $y_{ij}^{OWA}$  ( $i = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, m$ ) 为决策变量.

根据定理 1, 可获得模型 (9) 的一个最优解. 显然, 若模型 (9) 的最优解存在, 则协调者可通过调整个体偏好向量成功操纵方案的排名; 否则, 协调者无法通过调整个体偏好向量操纵方案的排名.

接下来, 给出下面性质 1 和性质 2, 以此表明模型 (9) 可行解、最优解的存在性.

**性质 1** 当  $t = 1$  时, 模型 (9) 的最优解存在, 当

且仅当  $r_i^* \in [1, m]$ ;

**性质 2** 当  $t \geq 2$  时, 至少存在一组  $\{r_1^*, r_2^*, \dots, r_t^*\}$ , 其中  $r_i^* \in [1, m] (i=1, 2, \dots, t)$ , 使得模型 (9) 的最优解存在.

本节在关于规划模型 (9) 的求解过程中, 解决的技术难点主要包含如下 3 个方面:

1) 如何将协调者期望被操纵方案的排名, 即模型 (9) 中的约束条件转化为线性形式, 从而对模型进行求解? 本节中引理 1 和引理 2 分别解决了 WA 和 OWA 下, 协调者期望的方案排名可以线性转化的难点.

2) 如何将协调者成功操纵方案排名时花费的最小成本, 即模型 (9) 的目标函数转化为线性形式, 从而对模型进行求解? 本节定理 1 中的模型  $P_1$  和模型  $P_2$  分别解决了 WA 和 OWA 下, 最小成本可以线性转化的难点.

3) 如何保证协调者可通过策略调整决策者的个体偏好向量成功操纵方案排名, 即模型 (9) 最优解的存在性? 本节性质 1 和性质 2 的引入, 保证了模型 (9) 最优解的存在.

综上, 模型 (9) 最优解的存在保证了协调者一定可以通过策略调整决策者的个体偏好向量, 达到成功操纵方案排名的目的.

### 3 案例分析和实验仿真

本节采用一个数值案例验证所建立模型的有效性, 并设计两个实验仿真比较 WA 与 OWA 防范群体决策过程中, 个体偏好策略操纵的性能.

#### 3.1 案例分析

某一家专注于硬科技投资的科创投资基金, 计划在今年投资一个最具潜力的赛道. 基金投决会的 4 位合伙人 (决策者) 需要从以下 6 个备选项目中决定一个作为今年的主投方向. 项目包括: 新能源 ( $a_1$ )、新型材料 ( $a_2$ )、大数据 ( $a_3$ )、云计算 ( $a_4$ )、人工智能 ( $a_5$ ) 以及先进装备制造 ( $a_6$ ).

在此过程中, 每位决策者由于背景不同, 对于“什么是最好的项目”有不同的偏好 (偏好向量已知).

假设 4 位决策者的背景出身如下:

1) 决策者  $e_1$ : 技术背景出身, 极度看重项目的技术原创性和颠覆性;

2) 决策者  $e_2$ : 市场背景出身, 最关注项目的市场天花板和增长潜力;

3) 决策者  $e_3$ : 财务背景出身, 首要考虑项目的盈利能力和投资回报周期;

4) 决策者  $e_4$ : 政策研究背景出身, 最看重项目是否符合国家宏观政策和产业导向.

假设 4 位决策者关于 6 个备选项目的偏好向量如下所示:

$$U_1 = (0.8, 0.89, 0.6, 0.63, 0.95, 0.81)^T,$$

$$U_2 = (0.7, 0.4, 0.78, 0.95, 0.9, 0.75)^T,$$

$$U_3 = (0.85, 0.7, 0.9, 0.7, 0.86, 0.85)^T,$$

$$U_4 = (0.95, 0.75, 0.71, 0.68, 0.79, 0.91)^T,$$

其中偏好向量中的数值表示决策者对于每个项目的偏好程度, 数值越高, 越喜欢. 如:  $e_1$  最喜欢人工智能 ( $a_5$ ) 和新型材料 ( $a_2$ ),  $e_4$  最喜欢新能源 ( $a_2$ ).

一般而言, 在上述基金投决会的决策过程中, 会存在一个协调者, 他/她能够基于已知的偏好向量, 协助 4 位决策者从 6 个备选项目中选择一个最优方案进行投资. 但是, 在现实过程中, 协调者可能是不诚实的, 他/她希望能够花费最小的成本, 使得 4 位决策者改变自身的偏好向量, 从而使得协调者期望的项目被基金投决会进行投资.

本案例中, 由于决策者权重向量是不知道的, 不失一般性, 任意选取两个决策者权重向量, 同时, 令  $f_k = 1$ , 验证模型  $P_1$  和模型  $P_2$  的可行性.

1) 设决策者权重向量为

$$\Lambda = (0.3, 0.18, 0.4, 0.12)^T.$$

① 当  $F$  采用 WA 函数时, 基于已知偏好向量, 由式 (2) 和 (4), 可得到备选方案的排名为  $r_U = (4, 6, 3, 5, 2, 1)^T$ . 假设协调者希望投资项目  $a_3$ , 即  $a_3$  为被操纵方案, 则期望排名  $r_3^* = 1$ . 采用 Lingo 软件对模型  $P_1$  进行求解, 可得到 WA 下, 协调者通过策略调整个体偏好向量为

$$U_1 = (0.61, 0.89, 0.6, 0.63, 0.95, 0.626)^T,$$

$$U_2 = (0.7, 0.4, 0.78, 0.95, 0.9, 0.75)^T,$$

$$U_3 = (0.85, 0.7, 0.9, 0.7, 0.56, 0.85)^T,$$

$$U_4 = (0.95, 0.75, 0.71, 0.68, 0.79, 0.91)^T$$

时, 可以成功操纵方案  $a_3$  的排名为 1, 此时  $a_3$  被投资, 花费的最小成本为 0.671.

② 当  $F$  采用 OWA 函数时, 基于已知偏好向量, 由式 (3) 和 (4), 可得到备选方案的排名为  $r_U = (4, 6, 5, 3, 1, 2)^T$ . 假设  $a_3$  为被操纵方案, 则期望排名  $r_3^* = 1$ . 采用 Lingo 软件对模型  $P_2$  进行求解, 可得到 OWA 下, 协调者通过策略调整决策者偏好向量为

$$U_1 = (0.8, 0.89, 0.6, 0.63, 0.95, 0.81)^T,$$

$$U_2 = (0.7, 0.4, 0.78, 0.95, 0.9, 0.75)^T,$$

$$U_3 = (0.714, 0.7, 0.9, 0.7, 0.55, 0.696)^T,$$

$$U_4 = (0.95, 0.75, 0.71, 0.68, 0.79, 0.91)^T$$

时, 可以成功操纵方案 $a_3$ 的排名为 1, 此时 $a_3$ 被投资, 花费的最小成本为 0.59.

2) 设决策者权重向量为

$$A = (0.2, 0.38, 0.17, 0.25)^T.$$

① 当 $F$ 采用 WA 函数时, 基于已知偏好向量, 由式 (2) 和 (4), 可得到方案的排名结果为 $r_U = (3, 6, 5, 4, 1, 2)^T$ . 假设协调者希望投资项目 $\{a_3, a_4\}$ , 即 $\{a_3, a_4\}$ 为被操纵方案, 则期望排名 $\{r_3^*, r_4^*\} = \{1, 1\}$ . 采用 Lingo 软件对模型 $P_1$ 进行求解, 可得到 WA 下, 协调者通过策略调整决策者偏好向量为

$$\begin{aligned} U_1 &= (0.8, 0.89, 0.6, 0.63, 0.95, 0.81)^T, \\ U_2 &= (0.7, 0.4, 0.733, 0.95, 0.514, 0.75)^T, \\ U_3 &= (0.6, 0.7, 0.9, 0.7, 0.86, 0.584)^T, \\ U_4 &= (0.95, 0.75, 0.71, 0.68, 0.79, 0.91)^T \end{aligned}$$

时, 可以成功操纵方案 $\{a_3, a_4\}$ 的排名为 $\{1, 1\}$ , 此时 $\{a_3, a_4\}$ 被投资, 花费的最小成本为 0.949.

② 当 $F$ 采用 OWA 函数时, 由式 (3) 和 (4), 可得到方案的排名结果为 $r_U = (3, 6, 4, 5, 1, 2)^T$ . 假设协调者希望投资项目 $\{a_3, a_4\}$ , 即 $\{a_3, a_4\}$ 为被操纵方案, 期望排名 $\{r_3^*, r_4^*\} = \{1, 1\}$ . 采用 Lingo 软件对模型 $P_2$ 进行求解, 可得到 OWA 下, 协调者通过策略调整决策者偏好向量为

$$\begin{aligned} U_1 &= (0.8, 0.89, 0.6, 0.63, 0.95, 0.81)^T, \\ U_2 &= (0.539, 0.4, 0.78, 0.87, 0.561, 0.56)^T, \\ U_3 &= (0.85, 0.7, 0.9, 0.70, 0.86, 0.85)^T, \\ U_4 &= (0.95, 0.75, 0.71, 0.68, 0.79, 0.91)^T \end{aligned}$$

时, 可以成功操纵方案 $\{a_3, a_4\}$ 的排名为 $\{1, 1\}$ , 此时 $\{a_3, a_4\}$ 被投资, 花费的最小成本为 0.766.

### 3.2 实验仿真

本节设计两个实验仿真, 分别调查决策者数量、方案数量对策略调整个体偏好向量所花费的最小成本, 并在 WA 和 OWA 变化的情况下, 比较其防范策略操纵的性能.

1) 决策者数量对于最小成本的影响.

首先, 考虑 $l$ 个不同数量的决策者集合, 令 $E_j = \{e_1, e_2, \dots, e_j\} (j = 1, 2, \dots, l; l \in N^*)$ , 显然,  $j$  的值越大, 集合中的决策者数量越多. 令 $f_k = 1, r_i^*$  为协调者期望操纵方案 $a_i$ 的排名.  $B_{i,j}^{WA}$  和  $B_{i,j}^{OWA}$  分别为 WA 和 OWA 下协调者基于 $j$ 个决策者数量, 成功操纵方案 $a_i$ 排名为 $r_i^*$ 时, 策略调整个体偏好向量所花费的最小成本. 进而, 设计仿真实验 I, 调查决策者数量对于 WA 和 OWA 下, 协调者成功操纵方案排

名时, 花费最小成本的影响. 不失一般性, 设置 $a_1$ 为被操纵方案.

仿真实验 I.

输入:  $m$ 和 $l$ ;

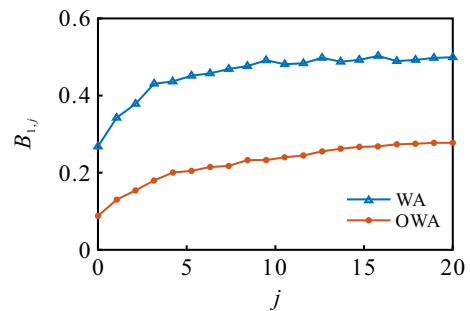
输出:  $B_{1,j}^{WA}$ 和 $B_{1,j}^{OWA}$ .

step 1 (随机产生 $j$ 个决策者的个体偏好向量): 随机产生 $j$ 个决策者的个体偏好向量 $U_j = [u_{ik}]_{m \times j} (j = 1, 2, \dots, l)$ , 其中 $u_{ik} \in [0, 1]$ ;

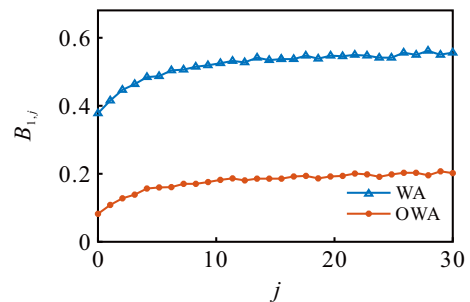
step 2 (产生操纵方案 $a_1$ 的期望排名 $r_1^*$ ): 随机产生协调者操纵方案 $a_1$ 的期望排名 $r_1^*$ ;

step 3 (计算最小成本 $B_{1,j}^{WA}$ 和 $B_{1,j}^{OWA}$ ): 应用模型 $P_1$ 和模型 $P_2$ , 得到 WA 和 OWA 下, 协调者成功操纵方案 $a_1$ 排名为 $r_1^*$ 时, 花费的最小成本 $B_{1,j}^{WA}$ 和 $B_{1,j}^{OWA}$ .

设置不同的 $m$ 和 $l$ 值, 运行实验仿真 I 1000 次, 得到 $B_{1,j}^{WA}$ 和 $B_{1,j}^{OWA}$ 的平均值, 如图 3 所示.



(a)  $m=6, l=20, f_k=1$



(b)  $m=12, l=30, f_k=1$

图3 WA 和 OWA 下策略调整个体偏好向量的最小成本 $B_{1,j}^{WA}$ 和 $B_{1,j}^{OWA}$

由图 3, 经分析可得到如下结论:

① 任意决策者数量下( $l \geq 1$ ), 相比于 OWA, 协调者在 WA 下成功操纵方案排名时, 需要花费更大的成本来策略调整决策者的个体偏好向量.

该结论表明: OWA 的数学特性 (按序集结、忽略原始权重) 天然地过滤掉了极端值, 使得协调者可以挑选“成本最低”的目标 (通过影响少数易影响的中间派) 来实现操纵; 而 WA 的数学特性 (保留所有权重信息) 则迫使协调者必须直面最高权重的反对者, 高权重的决策者往往地位重要、观点坚定, 改变

他们的偏好本身就需要巨大的努力. 因此, WA 下协调者需要花费更大的操纵最小成本.

② OWA 和 WA 下, 随着决策者数量的增多, 协调者成功操纵方案排名时, 花费最小成本的值均越来越大.

该结论表明: 群体规模的扩大增加了系统的复杂性和稳定性, 使得任何试图控制结果的努力均需要付出更大的代价. 因此, 无论采用哪种集结方式, 增加决策群体的规模均是防范操纵的有效策略.

③ 随着决策者数量的增多, 相比于 OWA, WA 下协调者花费最小成本的增长速度更快一点.

该结论表明: OWA 模型有序集结偏好的方式, 使其在决策群体规模不断扩大的情况下, 防范操纵性能更稳健一些; 而 WA 模型, 尤其是在大规模决策群体中, 因其权重网络的复杂性, 可以更有效地防范操纵.

2) 方案个数对于最小成本的影响.

首先, 考虑  $m$  个不同数量的方案集合, 令  $A_j = \{a_1, a_2, \dots, a_j\} (j = 1, 2, \dots, m; m \in N^*)$ , 显然,  $j$  的值越大, 集合中的方案数量越多. 令  $f_k = 1, r_i^*$  为协调者期望操纵方案  $a_i$  的排名.  $B_{i,j}^{WA}$  和  $B_{i,j}^{OWA}$  分别为 WA 和 OWA 下协调者基于  $j$  个方案数量, 成功操纵方案  $a_i$  排名为  $r_i^*$  时, 策略调整个体偏好向量所花费的最小成本. 进而, 设计实验仿真 II, 调查方案数量变化对于 WA 和 OWA 下, 协调者成功操纵方案排名时, 花费最小成本的影响. 不失一般性, 设置  $a_1$  为被操纵方案.

仿真实验 II.

输入:  $m$  和  $l$ ;

输出:  $B_{1,j}^{WA}$  和  $B_{1,j}^{OWA}$ .

step 1 (随机产生  $l$  个决策者关于  $j$  个方案的个体偏好向量): 随机产生  $l$  个决策者关于  $j$  个方案的个体偏好向量  $U_j = [u_{ik}]_{j \times l} (j = 1, 2, \dots, m)$ , 其中  $u_{ik} \in [0, 1]$ ;

step 2 (产生操纵方案  $a_1$  的期望排名  $r_1^*$ ): 随机产生协调者操纵方案  $a_1$  的期望排名  $r_1^*$ ;

step 3 (计算最小成本  $B_{1,j}^{WA}$  和  $B_{1,j}^{OWA}$ ): 应用模型  $P_1$  和模型  $P_2$ , 分别计算得到 WA 和 OWA 下, 协调者成功操纵方案  $a_1$  排名为  $r_1^*$  时, 花费的最小成本  $B_{1,j}^{WA}$  和  $B_{1,j}^{OWA}$ .

设置不同的  $m$  和  $l$  值, 运行实验仿真 II 1000 次, 得到  $B_{1,j}^{WA}$  和  $B_{1,j}^{OWA}$  的平均值, 如图 4 所示.

由图 4, 经分析可得到如下结论:

① 任意方案数量下 ( $m \geq 1$ ), 相比于 OWA, 协

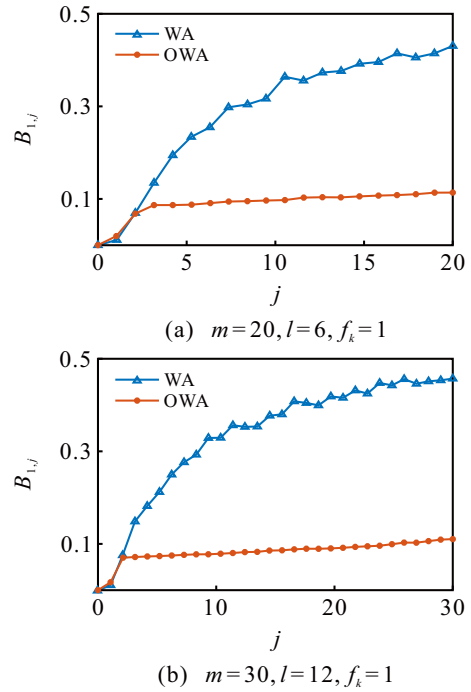


图4 WA 和 OWA 下调整个体偏好向量的最小成本  $B_{1,j}^{WA}$  和  $B_{1,j}^{OWA}$

调者在 WA 下成功操纵方案排名时, 需要花费更大的成本来策略调整决策者的个体偏好向量.

该结论表明: 在改变方案数量的情况下, OWA 的数学特性同样使得 WA 下协调者的操纵最小成本要大于 OWA 下的操纵最小成本.

② 随着方案数量的增多, OWA 和 WA 下, 协调者成功操纵方案排名时, 花费最小成本的值均越来越大.

该结论表明: 方案数量越多, 决策空间的维度越高, 竞争越激烈, 协调者需要付出的努力越大. 因此, 无论采用哪种集结方式, 增加候选方案的数量同样可以有效提升决策系统的防操纵性.

③ 随着方案数量的增多, 相比于 OWA, WA 下协调者花费最小成本的增长速度明显更快.

该结论表明: OWA 模型有序集结偏好的方式, 使其在决策方案数量不断增大的情况下, 防范操纵性能更稳健一些; 而 WA 模型, 尤其是在复杂的多方案决策环境中, 因其全局权重依赖性, 反而能够更有效地防范外部操纵, 其安全性随方案规模的扩大显著增强.

仿真实验 I 和仿真实验 II 均可以表明: 相比于 OWA, WA 在个体偏好向量的策略操纵问题上防范策略操纵的性能更好; 随着决策者数量的增多和方案数量的增多, OWA 和 WA 防范策略操纵的性能均越来越好, 但是, WA 防范策略操纵的性能相比于 OWA 会增长得更快一些.

## 4 结论与展望

本文致力于研究群体决策中的个体偏好策略操纵问题, 主要内容如下:

1) 假设协调者是不诚实的, 可能通过撒谎、欺骗等手段使得决策结果符合自身利益. 本文提出了群体决策中的个体偏好策略操纵模型来获得策略的个体偏好向量, 达到了策略操纵方案排名的目的.

2) 基于最小成本模型的启发, 建立了最小成本的个体偏好向量策略操纵模型. 采用混合 0-1 线性规划对模型进行转化, 进而对个体偏好策略操纵模型进行了求解, 并给出模型最优解存在的性质.

3) 使用一个数值案例验证了所提出模型的有效性, 设计了两个实验仿真分别比较决策者数量和方案数量变化, 对于 WA 和 OWA 下, 协调者成功操纵方案排名时, 策略调整个体偏好向量所花费的最小成本的影响. 结果表明, 相比于 OWA, WA 在防范个体偏好策略操纵问题上具有更好的防范性能.

在群体决策过程中, 决策者间存在一定的信任关系, 构成了一个社会网络, 即社会网络的群体决策<sup>[23-24]</sup>. 在社会网络环境下, 个体决策者间的意见可进行交互, 进而个体关于方案的偏好可在一个动态的环境里演化<sup>[25-26]</sup>. 此外, 决策者群体经常会提供一些不完全的偏好信息<sup>[27-28]</sup>, 这些不完全的偏好信息亦会随着时间进行交互演化. 因此, 研究社会网络环境下, 基于不完全偏好信息交互演化的个体偏好策略操纵模型是有必要的.

### 参考文献 (References)

- [1] Cook W D, Kress M. A data envelopment model for aggregating preference rankings[J]. *Management Science*, 1990, 36(11): 1302-1310.
- [2] Hochbaum D S, Levin A. Methodologies and algorithms for group-rankings decision[J]. *Management Science*, 2006, 52(9): 1394-1408.
- [3] 张发明, 朱姝琪. 基于 EDAS 和共识模型的动态概率语言多属性群决策方法[J]. *控制与决策*, 2024, 39(4): 1379-1386.  
(Zhang F M, Zhu S Q. A dynamic probabilistic linguistic multi-attribute group decision making method based on EDAS and consensus model[J]. *Control and Decision*, 2024, 39(4): 1379-1386.)
- [4] Jin F F, Cai Y H, Zhou L G, et al. Regret-rejoice two-stage multiplicative DEA models-driven cross-efficiency evaluation with probabilistic linguistic information[J]. *Omega*, 2023, 117: 102839.
- [5] Li K, Gao L, Guo Z X, et al. Safeguarding China's long-term sustainability against systemic disruptors[J]. *Nature Communications*, 2024, 15(1): 5338.
- [6] Lin W H, Gao L, Guo Z X, et al. Large-scale optimized deployment of bioenergy with carbon capture and storage in China[J]. *Science Bulletin*, 2025, 70(15): 2400-2403.
- [7] Yang B J, Ming L Y, Zeng X, et al. Multi-objective optimization of the new energy vehicle supply chain considering risk losses and carbon emissions[J]. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 2025: 1-34.
- [8] 贺建风, 吴慧. 中国省域数字经济发展水平的测度、时空演变与差异分解[J]. *华南理工大学学报: 社会科学版*, 2024, 26(3): 65-81.  
(He J F, Wu H. Measurement, spatio-temporal evolution and differential decomposition of provincial digital economy development level in China[J]. *Journal of South China University of Technology: Social Science Edition*, 2024, 26(3): 65-81.)
- [9] 张卫国, 林嘉裕. 香港股市对内地股市行业间尾部风险溢出研究[J]. *华南理工大学学报: 社会科学版*, 2024, 26(6): 72-85.  
(Zhang W G, Lin J Y. Study on inter-industry tail risk spillover between Hong Kong and Chinese mainland stock markets[J]. *Journal of South China University of Technology: Social Science Edition*, 2024, 26(6): 72-85.)
- [10] Liu Y T, Sun Z W, Liang H M, et al. Ranking range model in multiple attribute decision making: A comparison of selected methods[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 155: 107180.
- [11] Paul Y K, Hwang C-L. Multiple attribute decision making: Methods and applications[M]. Berlin: Springer, 1981.
- [12] 王彪, 薛源, 陈萍萍, 等. 基于前景理论的多阶段多情景多部门应急决策的矩阵方法[J]. *控制与决策*, 2025, 40(2): 655-664.  
(Wang B, Xue Y, Chen P P, et al. Matrix approach for multi-stage, multi-scenario, and multi-department emergency decision-making based on prospect theory[J]. *Control and Decision*, 2025, 40(2): 655-664.)
- [13] 王景瑞, 孙秉珍, 包强, 等. 融合邻域粗糙集与 SA 的多模态三支决策模型及其在疾病诊断中的应用[J]. *控制与决策*, DOI: 10.13195/j.kzyjc.2025.0626.  
(Wang J R, Sun B Z, Bao Q, et al. Multimodal three-way decision model fusing neighborhood rough set and SA and its application in disease diagnosis[J]. *Control and Decision*, DOI: 10.13195/j.kzyjc.2025.0626.)
- [14] Dong Y C, Li Y, He Y, et al. Preference — Approval structures in group decision making: Axiomatic distance and aggregation[J]. *Decision Analysis*, 2021, 18(4): 273-295.
- [15] 夏璇, 巩在武. 移情网络下有序回归残差值估计和应急决策共识建模[J]. *控制与决策*, 2025, 40(7): 2203-2212.  
(Xia X, Gong Z W. Incomplete values ordinal regression estimation and consensus modeling for emergency decision-making under empathetic network. *Control and Decision*, 2025, 40(7): 2203-2212.)

- [16] 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.)
- [17] Yager R R. Penalizing strategic preference manipulation in multi-agent decision making[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2001, 9(3): 393-403.
- [18] Xu W J, Chen X, Dong Y C, et al. Impact of decision rules and non-cooperative behaviors on minimum consensus cost in group decision making[J]. *Group Decision and Negotiation*, 2021, 30(6): 1239-1260.
- [19] Jin F F, Lin H, Zhou L G. Bounded rationality consensus reaching process with prospect theory and preventing individual weight manipulation for multi-attribute group decision making[J]. *Information Fusion*, 2024, 112: 102574.
- [20] Wang F, Zhang H J, Wang J G. Strategic behavior in multi-criteria sorting with trust relationships-based consensus mechanism: Application in supply chain risk management[J]. *European Journal of Operational Research*, 2025, 321(3): 907-924.
- [21] Sun Q, Chiclana F, Wu J, et al. Weight penalty mechanism for noncooperative behavior in large-scale group decision making with unbalanced linguistic term sets[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2023, 31(10): 3507-3521.
- [22] Xiong K, Dong Y C, Zha Q B. Managing strategic manipulation behaviors based on historical data of preferences and trust relationships in large-scale group decision-making[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2024, 32(3): 1479-1493.
- [23] 徐选华, 张前辉. 社会网络环境下基于共识的风险性大群体应急决策非合作行为管理研究[J]. 控制与决策, 2020, 35(10): 2497-2506.  
(Xu X H, Zhang Q H. Management of non-cooperative behavior in consensus-based large group emergency decision-making in social network environment[J]. *Control and Decision*, 2020, 35(10): 2497-2506.)
- [24] 余高锋, 李登峰. 考虑群体信任的网络安全态势多维偏好评级方法[J]. 控制与决策, 2024, 39(5): 1718-1726.  
(Yu G F, Li D F. Network security situation grade assessment multi-dimensional rating method considering group trust[J]. *Control and Decision*, 2024, 39(5): 1718-1726.)
- [25] Chen X Y, Gong Z W, Wei G. On incomplete matrix information completion methods and opinion evolution: Matrix factorization towards adjacency preferences[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2024, 133: 108140.
- [26] Zhang Y, Chen X, Pedrycz W, et al. Consensus reaching based on social influence evolution in group decision making[J]. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2023, 53(7): 4134-4147.
- [27] Li Y, He Y, Dong Y. Preference-sorting structures extending scores and ordered categories: an axiomatic distance approach in group decision making[J]. *Annals of Operations Research*, 2025: 1-33.
- [28] Liang Q, Luo C Y, Zhang Z, et al. Mining maximum ordinal-cardinal consensus for large-scale group decision making with incomplete fuzzy preference relations[J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2024, 32(6): 3542-3555.

### 作者简介

刘亚婷 (1988-), 女, 讲师, 博士, 主要研究方向为决策分析、策略行为与操纵, E-mail: liuyating@xaut.edu.cn;

徐维军 (1975-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为金融工程与风险管理、不确定性决策方法及策略设计, E-mail: xuwj@scut.edu.cn;

陈霞 (1991-), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为群体决策、风险管理, E-mail: xiachen@uestc.edu.cn;

董玉成 (1979-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为决策分析及应用、舆情治理, Email: ycdong@scu.edu.cn.