

基于 Orness 测度约束的多阶段灰色局势群决策模型

张娜^{1,2}, 方志耕¹, 朱建军¹

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 石河子大学 商学院, 新疆 五家渠 831300)

摘要: 研究多阶段灰色局势群决策模型. 从决策专家各阶段的评价信息质量分析入手, 给出了评价阶段质变和量变的定义; 基于各阶段的评价信息和 Orness 测度, 构建以相邻阶段信息偏差最小为目标的时间权重模型, 分析了在保持最优局势不变的情况下 Orness 测度的取值范围, 为决策专家 Orness 取值提供参考; 研究基于群体差异最小的决策专家权重模型, 提出一种多阶段灰色局势群决策评价信息集结方法. 最后, 通过一个具体的算例说明了该方法的有效性和可行性.

关键词: Orness 测度; 多阶段决策; 灰色局势; 群决策

中图分类号: C934

文献标志码: A

Multi-stage grey situation group decision-making model based on Orness

ZHANG Na^{1,2}, FANG Zhi-geng¹, ZHU Jian-jun¹

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. Commerce College, Shihezi University, Wujiaqu 831300, China. Correspondent: ZHANG Na, E-mail: zhangnanuaa@163.com)

Abstract: A multi-stage situation group decision-making model is studied. Based on the quality analysis on decision experts' evaluation information, the qualitative change and quantitative change of evaluation stages are defined. Then a time weight model minimizing the information deviation for adjacent stages is built, and the value range of Orness measure with the unchanged optimal situation is analyzed, which provides a reference for decision experts to assign the value. A new method for information aggregation is proposed for multi-stage grey situation group decision-making. Finally, a specific example illustrates the effectiveness and feasibility of the proposed method.

Keywords: Orness measure; multi-stage decision-making; grey situation; group decision-making

0 引言

灰色局势决策是在多个事件、多个对策以及多个目标下的满意决策^[1-3]. 自1982年邓聚龙^[1]提出灰色局势决策以来, 其已经成为灰色决策方法的重要组成部分, 目前已在军事决策、股票市场、医疗绩效评价等各领域得到了广泛的应用^[4-9].

目前, 关于灰色局势决策模型理论的研究主要有: 文献[10]针对目标权重的不确定性, 构建了基于区间数距离和灰熵的灰色局势决策模型; 文献[11]针对算法参数设定的盲目性, 构建了基于均匀设计的灰色局势决策参数组合模型; 文献[12]结合决策者风险偏好, 给出了一种基于前景理论的灰色局势决策模型; 文献[13]基于“奖优罚劣”线性变换算子, 构建了属性值为区间数的灰色局势决策模型; 文献[14]针对传统灰色局势决策目标等权处理的不足, 构建了基于权重

优化的多目标灰色局势决策模型; 文献[15]基于熵理论对目标权重进行计算, 给出了一种能够反映局势间差异程度的灰色局势决策赋权方法; 文献[16]基于一般系统理论, 提出了灰色一般局势决策及其系统化的数学模型.

然而, 实际决策并不是静态的, 往往是多阶段动态的过程. 对于研究多阶段灰色局势群决策的难点在于: 1) 如何对多阶段评价信息进行充分的挖掘并确定阶段权重, 对阶段权重信息进行集结; 2) 如何确定多阶段评价信息下决策专家权重模型, 最终对多阶段灰色局势效果样本值进行集结. 纵观已有文献, 关于阶段权重未知、决策专家权重未知的多阶段灰色局势群决策问题的研究极为少见.

本文首先对决策专家各阶段的评价信息质量进行分析, 构建评价阶段质变和量变的测度指标; 然后,

收稿日期: 2014-04-17; 修回日期: 2014-07-05.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71363046, 70131064); 教育部人文社科基金项目(10YJA790174, 13YJC790198).

作者简介: 张娜(1983-), 女, 讲师, 博士生, 从事多属性决策理论与方法的研究; 方志耕(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 从事灰色理论、多属性决策理论与方法等研究.

基于各阶段的评价信息和 Orness 测度构建非线性规划模型以确定各阶段的时间权重,并分析在保持最优局势不变的情况下 Orness 测度的取值范围;最后,基于决策专家意见的一致性,构建决策专家权重模型,并对专家意见进行集结,进而对每个事件的局势进行排序,得到最优局势.该模型为解决多阶段灰色局势决策问题提供了一种可行、实用的方法.

1 主要方法与结果

1.1 问题描述

在多阶段灰色局势群决策问题中,令 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 表示事件集; $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ 表示对策集; $D = \{d_1, d_2, \dots, d_p\}$ 表示决策专家集; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_r\}$ 表示阶段集; $S = \{s_{ij}^{kt} = (a_i^{kt}, b_j^{kt}) | a_i^{kt} \in A, b_j^{kt} \in B\}$ 表示第 k 个决策专家在第 t 个阶段的局势集, $u_{ij}^{kt(l)}(\otimes)$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; l = 1, 2, \dots, s; k = 1, 2, \dots, p; t = 1, 2, \dots, r$) 表示第 k 个决策专家在第 t 个阶段给出的局势 $s_{ij}^{kt} \in S$ 在目标 l 下的效果样本值,效果值为区间灰数的形式; $W^{kt} = \{\omega_1^{kt}, \omega_2^{kt}, \dots, \omega_s^{kt}\}$ 表示第 k 个决策专家在第 t 个阶段的局势 s_{ij}^{kt} 的目标权重向量,满足 $\sum_{l=1}^s \omega_l^{kt} = 1$; $\vartheta^k = \{\vartheta_1^k, \vartheta_2^k, \dots, \vartheta_r^k\}$ 表示第 k 个决策专家阶段权重向量,满足 $\sum_{t=1}^r \vartheta_t^k = 1$; $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p\}$ 表示决策专家的权重向量,满足 $\sum_{k=1}^p \lambda_k = 1$.

第 k 个决策专家在第 t 个阶段的局势 s_{ij}^{kt} 在目标 l 下的效果样本值矩阵可以表示成如下形式:

$$U_{ij}^{kt(l)}(\otimes) = \begin{bmatrix} [\underline{\mu}_{11}^{kt(l)}, \bar{\mu}_{11}^{kt(l)}] & [\underline{\mu}_{12}^{kt(l)}, \bar{\mu}_{12}^{kt(l)}] & \cdots & [\underline{\mu}_{1m}^{kt(l)}, \bar{\mu}_{1m}^{kt(l)}] \\ [\underline{\mu}_{21}^{kt(l)}, \bar{\mu}_{21}^{kt(l)}] & [\underline{\mu}_{22}^{kt(l)}, \bar{\mu}_{22}^{kt(l)}] & \cdots & [\underline{\mu}_{2m}^{kt(l)}, \bar{\mu}_{2m}^{kt(l)}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [\underline{\mu}_{n1}^{kt(l)}, \bar{\mu}_{n1}^{kt(l)}] & [\underline{\mu}_{n2}^{kt(l)}, \bar{\mu}_{n2}^{kt(l)}] & \cdots & [\underline{\mu}_{nm}^{kt(l)}, \bar{\mu}_{nm}^{kt(l)}] \end{bmatrix}. \quad (1)$$

定义 1 设 $A = [\underline{\mu}_1, \bar{\mu}_1]$ ($\underline{\mu}_1 \leq \bar{\mu}_1$) 和 $B = [\underline{\mu}_2, \bar{\mu}_2]$ ($\underline{\mu}_2 \leq \bar{\mu}_2$) 为两个灰色局势效果样本值,则 A 与 B 之间的距离为

$$d(A, B) = \sqrt{(\underline{\mu}_1 - \underline{\mu}_2)^2 + (\bar{\mu}_1 - \bar{\mu}_2)^2}.$$

定义 2 设 $A = [\underline{\mu}_1, \bar{\mu}_1]$ ($\underline{\mu}_1 \leq \bar{\mu}_1$) 和 $B = [\underline{\mu}_2, \bar{\mu}_2]$ ($\underline{\mu}_2 \leq \bar{\mu}_2$) 为两个灰色局势效果样本值,若

$$\hat{\otimes}_A / (1 + l(\otimes A)) > \hat{\otimes}_B / (1 + l(\otimes B)),$$

则 $A > B$, 其中 $\hat{\otimes}$ 、 $l(\otimes)$ 分别为区间灰数的核和区间长度,具体定义见文献 [3].

1.2 多阶段灰色局势群决策中评价信息质量分析

定义 3 (决策专家阶段间不稳定评价) 假设第

k 个决策专家第 t 个阶段在目标 l 下的效果样本值为 $U_{ij}^{kt(l)}(\otimes)$, 如果

$$u_{ij}^{k(l)} = \max_t d(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes), U_{ij}^{kt-1(l)}(\otimes)) > \epsilon,$$

$$u_{ij}^k = \max_t \sum_{l=1}^s d(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes), U_{ij}^{kt-1(l)}(\otimes)) / s > \epsilon,$$

则表明决策专家在阶段间的评价有明显的震荡,具有不稳定性.其中 ϵ 为事先给定的阈值,可以根据不同的情况对其进行调整(下同).一般当决策精度要求提高时,阈值 ϵ 可适当减小;精度要求降低时,阈值 ϵ 可适当增大.

定义 4 (决策专家存在严重分歧的评价) 第 k 个决策专家在目标 l 下的评价与全体决策专家评价的偏离程度记为

$$\zeta_{ij}^{kt(l)} = d\left(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes), \sum_{k=1}^p U_{ij}^{kt(l)}(\otimes) / p\right).$$

如果 $\zeta_{ij}^{kt(l)} > \vartheta$, 则称其为第 k 个决策专家存在严重分歧的评价.

定义 5 (评价存在严重分歧的决策专家) 第 k 个决策专家的评价与全体决策专家评价平均偏离程度记为

$$\rho^{kt} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^s d\left(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes), \sum_{k=1}^p U_{ij}^{kt(l)}(\otimes) / p\right)}{nms}.$$

如果 $\rho^{kt} > \varphi$, 则称第 k 个决策专家为存在严重分歧的决策专家.

对于存在严重分歧的决策专家必须确定以下 2 点: 1) 对该决策专家的评价信息给予高度的重视,分析其评价信息,确认是否属于“真理掌握在少数人手中”; 2) 如果是由于决策专家的主观经验、认识等所导致的严重分歧,则可以对决策专家评价信息屏蔽或者令其适当修正.

根据辩证唯物主义否定之再否定理论,事物的变化发展是波浪式前进、螺旋式上升的过程,其发展变化超过一定的“度”就会从量变到质变.在多阶段灰色局势群决策过程中,一般以决策专家评价信息的量变阶段为主要评价,如果决策专家的评价信息发生质变,则以最后一次质变后的量变阶段为主要评价.多阶段灰色局势群决策过程中评价信息量变和质变的定义如下.

定义 6 (决策专家的评价信息量变阶段) 如果某事件或某对策在第 t 个阶段的评价信息与其第 $t-1$ 个阶段的评价信息相比发生了一定程度的变化,即

$$\frac{\sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^s d\left(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes), U_{ij}^{kt-1(l)}(\otimes)\right)}{pms} \leq \eta,$$

或

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^s d(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes), U_{ij}^{kt-1(l)}(\otimes)) / nps \leq \eta,$$

则称第 t 个阶段为决策专家的评价信息的量变阶段.

定义 7 (决策专家的评价信息质变阶段) 如果某事件或某对策在第 t 个阶段的评价信息与其第 $t-1$ 个阶段的评价信息相比发生了较大程度的变化, 即

$$\sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^s d(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes), U_{ij}^{kt-1(l)}(\otimes)) / pms > \Psi,$$

或

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^s d(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes), U_{ij}^{kt-1(l)}(\otimes)) / nps > \Psi,$$

则称第 t 个阶段为决策专家的评价信息的质变阶段.

1.3 基于相邻阶段信息偏差最小的阶段权重确定

在多阶段灰色局势群决策过程中, 对于评价信息的量变阶段应根据阶段的重要性对其权重进行衡量.

定义 8 在多阶段灰色局势群决策过程中, $\vartheta^k = \{\vartheta_1^k, \vartheta_2^k, \dots, \vartheta_r^k\}$ 表示第 k 个决策专家阶段权重向量, 满足 $\sum_{t=1}^r \vartheta_t^k = 1, 0 \leq \text{Orness}(\vartheta^k) \leq 1$, 则将 ϑ_t^k 的 Orness 测度^[17]记为

$$\text{Orness}(\vartheta^k) = \frac{1}{r-1} \sum_{t=1}^r (r-t)\vartheta_t^k.$$

对于多阶段灰色局势群决策而言, $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 反映了第 k 个决策专家各阶段的时间权重. 显然, $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 越小表明越重视近期数据, $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 越大表明越重视远期数据. 尤其当 $\text{Orness}(\vartheta^k) = 0.5$ 时, 表明赋予各阶段的时间权重相等. 关于 Orness 测度的应用问题, 文献 [18-20] 对其进行了研究和探讨.

为了有效地控制阶段间差异, 最大化各个阶段评价信息对整体评价的贡献, 本文以相邻阶段信息偏差最小为原则, 建立如下规划模型:

$$\min D_k = \sum_{t=2}^r \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^s d(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes) \cdot \vartheta_t^k, U_{ij}^{kt-1(l)}(\otimes) \cdot \vartheta_{t-1}^k),$$

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

$$\text{s.t.} \begin{cases} \vartheta \geq \zeta; \\ \frac{|\vartheta_t^k - \vartheta_{t-1}^k|}{\vartheta_t^k} \leq \tau; \\ \sum_{t=1}^r \vartheta_t^k = 1, 0 \leq \vartheta_t^k \leq 1; \\ \text{Orness}(\vartheta^k) = \frac{1}{r-1} \sum_{t=1}^r (r-t)\vartheta_t^k, 0 \leq \text{Orness}(\vartheta^k) \leq 1; \\ t = 1, 2, \dots, r, k = 1, 2, \dots, p. \end{cases} \quad (2)$$

其中: ϑ_t^k 和 ϑ_{t-1}^k 为第 k 个决策专家在第 t 个阶段和第 $t-1$ 个阶段的时间权重; 第 1 个约束保证各个评价阶

段对整体评价都有一定的作用; 第 2 个约束保证各个评价阶段的时间权重在一定范围内保持稳定; $\zeta, \tau > 0$, 其数值可根据具体情况设定; 决策专家可以根据主观偏好确定 $\text{Orness}(\vartheta^k)$. 模型 (2) 实际上是一个非线性规划模型, 可以利用 Matlab 等软件进行求解.

关于 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 的取值问题, 文献 [21-22] 对其进行了研究. 然而, 在实际决策过程中, 仅凭决策专家的主观评价确定 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 的值会增加决策的风险. 为此, 本文对 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 取值的灵敏度进行分析, 即在保证 $M-1$ 所得的最优局势不被取代的前提下, 测算 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 取值的变化范围, 以确保决策结果的一致性. 假设由模型 (2) 确定的最优局势为 $s_{i_0 j_0}^{k(l)}$, 则存在 $n+m$ 种最优局势的结果. 显然, 最优局势 $s_{i_0 j_0}^{k(l)}$ 的确定与 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 的取值密切相关, 可以认为 $s_{i_0 j_0}^{k(l)}$ 是 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 的函数, 即 $s_{i_0 j_0}^{k(l)} = f[\text{Orness}(\vartheta^k)]$.

根据以上分析, 得到保持最优局势不变的规划模型为

$$\max / \min \text{Orness}(\vartheta^k) = \frac{1}{r-1} \sum_{t=1}^r (r-t)\vartheta_t^k, \\ k = 1, 2, \dots, p.$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \min D_k = \sum_{t=2}^r \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^s d(U_{ij}^{kt(l)}(\otimes) \cdot \vartheta_t^k, U_{ij}^{kt-1(l)}(\otimes) \cdot \vartheta_{t-1}^k); \\ \vartheta \geq \zeta; \\ \frac{|\vartheta_t^k - \vartheta_{t-1}^k|}{\vartheta_t^k} \leq \tau; \\ \sum_{t=1}^r \vartheta_t^k = 1, 0 \leq \vartheta_t^k \leq 1; \\ \text{Orness}(\vartheta^k) = \frac{1}{r-1} \sum_{t=1}^r (r-t)\vartheta_t^k, 0 \leq \text{Orness}(\vartheta^k) \leq 1, \\ t = 1, 2, \dots, r, k = 1, 2, \dots, p; \\ s_{i_0 j_0}^{k(l)} = f[\text{Orness}(\vartheta^k)]. \end{cases} \quad (3)$$

在非线性规划模型 (3) 中, $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 表示在最优局势 $s_{i_0 j_0}^{k(l)}$ 保持不变的前提下 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 的变化范围.

定理 1 非线性规划模型 (3) 必定存在最优解.

证明 因为非线性规划 (2) 是可行域非空的, 其最优局势总是可以确定的且是 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 的函数, 所以非线性规划模型 (3) 的可行域必然也是非空的, 即至少存在一个 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 是模型 (3) 的可行解. 因 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 是有界的, 故模型 (3) 必然存在最优解. \square

通过最优局势不被取代的前提下 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 的取值范围的确定, 可以减少之前仅凭决策专家的主观评价确定 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 值的决策风险.

通过 ϑ_t^k 的 Orness 测度可以得到多阶段灰色局势群决策过程中第 k 个决策专家阶段权重向量 $\vartheta^{*k} = \{\vartheta_1^{*k}, \vartheta_2^{*k}, \dots, \vartheta_r^{*k}\}$, 基于时间权重信息将多阶段灰色局势评价信息集结为单阶段评价信息, 即

$$U_{ij}^{k(l)}(\otimes) = \sum_{t=1}^r \vartheta_t^{*k} \cdot U_{ij}^{kt(l)}(\otimes).$$

1.4 基于群体意见一致性的决策专家权重确定

为了能够充分考虑大多数决策专家的评价信息, 按照各个局势的效果样本值矩阵在引入决策专家权重后的综合效果样本值与决策专家群体综合效果样本均值偏差最小的原则建立决策专家权重模型, 即有

$$\begin{aligned} \min D = & \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^s d(U_{ij}^{k(l)}(\otimes) \cdot \lambda_k, \sum_{k=1}^p U_{ij}^{k(l)}(\otimes)/p). \\ \text{s.t. } & \begin{cases} \lambda_k \geq \zeta; \\ \sum_{k=1}^p \lambda_k = 1, 0 \leq \lambda_k \leq 1, k = 1, 2, \dots, p. \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

其中: λ_k 表示第 k 个决策专家的权重, $\lambda_k \geq \zeta$ 保证充分考虑各个决策专家的评价信息, ζ 为临界值, 可根据具体情况确定. 由于决策专家权重的不确定性, 为了使其不确定性尽量减少, 本文考虑采用极大熵模型将决策专家权重定义为

$$\begin{aligned} \max H(\lambda) = & - \sum_{k=1}^p \lambda_k \ln \lambda_k; \\ \text{s.t. } & \sum_{k=1}^p \lambda_k = 1, 0 \leq \lambda_k \leq 1, k = 1, 2, \dots, p. \end{aligned} \quad (5)$$

综合模型 (4) 和 (5) 得到以下模型:

$$\begin{aligned} \min \{ & \sigma_1 \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^s d(U_{ij}^{k(l)}(\otimes) \cdot \lambda_k, \\ & \sum_{k=1}^p U_{ij}^{k(l)}(\otimes)/p) + \sigma_2 \sum_{k=1}^p \lambda_k \ln \lambda_k \}. \\ \text{s.t. } & \begin{cases} \lambda_k \geq \zeta; \\ \sum_{k=1}^p \lambda_k = 1, 0 \leq \lambda_k \leq 1, k = 1, 2, \dots, p. \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

其中: σ_1, σ_2 为平衡系数, 满足 $\sigma_1 + \sigma_2 = 1$, 可根据实际情况确定. 模型 (6) 实际上是一个单目标规划, 可以通过 LINGO 软件进行求解.

由单目标规划 (6) 求解得到决策专家权重向量为 $\lambda^* = \{\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_p^*\}$. 假设各个目标对局势选择的影响是均等的, 则局势 s_{ij} 的综合效果样本值为

$$U_{ij}(\otimes) = \sum_{l=1}^s \sum_{k=1}^p U_{ij}^{k(l)}(\otimes) \cdot \lambda_k / s.$$

定义 9 设有局势 s_{ij} 的综合效果样本值矩阵 $U_{ij}(\otimes)$, 若 $\max_{1 \leq j \leq m} \{\mu_{ij}(\otimes)\} = \mu_{ij_0}(\otimes)$, 则称 b_{j_0} 为事件 a_i 的最优对策; 若 $\max_{1 \leq j \leq m} \{\mu_{ij}(\otimes)\} = \mu_{i_0j}(\otimes)$, 则称 a_{i_0}

为与对策 b_j 相对应的最优事件; 若 $\max_{1 \leq j \leq m} \{\mu_{ij}(\otimes)\} = \mu_{i_0j_0}(\otimes)$, 则称 $s_{i_0j_0}$ 为最优局势.

1.5 多阶段灰色局势群决策步骤

综上所述, 基于 Orness 测度的多阶段灰色局势群决策方法的步骤如下.

Step 1: 根据事件集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 对策集 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, 决策专家集 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_p\}$, 阶段集 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_r\}$ 构造多阶段灰色群决策局势集 $S = \{s_{ij}^{kt} = (a_i^{kt}, b_j^{kt}) | a_i^{kt} \in A, b_j^{kt} \in B\}$.

Step 2: 确定决策目标, 对目标 $l = 1, 2, \dots, s$ 由各个决策专家给出相应的效果样本值矩阵; 并根据文献 [23] 的方法, 对效果样本值矩阵为效益型、成本型或者中间型指标进行规范化处理.

Step 3: 进行阶段间评价信息质量分析, 判断是否存在严重分歧的评价或决策专家, 如果存在则分析其产生的原因, 对其进行高度重视或者屏蔽此评价或决策专家信息; 判断是否属于量变阶段, 如果不属于量变阶段, 则以最后一次质变后的量变阶段为主要评价 (按照 1.2 节中的方法确定).

Step 4: 通过决策专家给定的 Orness(ϑ^k) 值确定各决策专家各阶段的时间权重, 并对 Orness(ϑ^k) 值进行灵敏度分析, 确保最优局势的稳定性; 然后, 基于时间权重信息将多阶段灰色局势评价信息集结为单阶段评价信息 (按照 1.3 节中的方法确定).

Step 5: 根据模型 (6) 确定决策专家权重, 并将各个决策专家单阶段的评价信息集结为群体评价信息, 进而根据定义 9 确定最优局势.

2 算例分析

我国商用大飞机项目采用“主制造商-供应商”的管理模式, 大量关键组件需要国际供应商的协作与配合, 对于某个关键组件制造的供应商选择一般通过“招标投标”的方式完成. 假设在某 3 个关键组件国际供应商选择的过程中有 3 家供应商入围, 决策专家组中有 3 位专家, 决策专家组考察了这 3 个供应商在 2013 年 3 个季度的具体情况.

Step 1: 选择某 3 个关键组件国际供应商作为事件, 事件集 $A = \{a_1, a_2, a_3\}$; 选择供应商 1、供应商 2、供应商 3 构成对策集 $B = \{b_1, b_2, b_3\}$; 选择专家 1、专家 2、专家 3 构成决策专家集 $D = \{d_1, d_2, d_3\}$; 2013 年 3 个季度构成阶段集 $T = \{t_1, t_2, t_3\}$. 由事件集、对策集、决策专家集以及阶段集构造局势集 $S = \{s_{ij}^{kt} = (a_i^{kt}, b_j^{kt}) | a_i^{kt} \in A, b_j^{kt} \in B, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; l = 1, 2, \dots, s; k = 1, 2, \dots, p; t = 1, 2, \dots, r\}$.

Step 2: 确定决策目标, 通过数轮的专家调研, 把质量、竞争力和价格作为进行供应商选择的决策目

标. 其中: 质量和竞争力是定性指标, 由决策专家通过打分法进行评价, 这两个都是效益型指标, 评分越高越好, 由于指标的不确定性, 决策专家以 0~10 的区间数进行打分; 价格是成本型指标, 数据越低越好, 数据取自供应商提供的报价数据. 对于决策目标质量和竞争力, 各个专家在各阶段给出的效果样本值矩阵分别为

$$\begin{aligned}
 U_{ij}^{11(1)} &= \begin{bmatrix} [5, 7] & [6, 7] & [7, 9] \\ [3, 5] & [4, 6] & [3, 4] \\ [5, 6] & [6, 8] & [5, 7] \end{bmatrix}, U_{ij}^{11(2)} = \begin{bmatrix} [4, 5] & [5, 7] & [4, 6] \\ [5, 6] & [4, 7] & [4, 6] \\ [3, 6] & [4, 5] & [7, 9] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{21(1)} &= \begin{bmatrix} [5, 6] & [6, 8] & [8, 9] \\ [3, 4] & [4, 6] & [4, 5] \\ [4, 6] & [7, 9] & [5, 6] \end{bmatrix}, U_{ij}^{21(2)} = \begin{bmatrix} [4, 6] & [6, 7] & [3, 6] \\ [5, 7] & [4, 6] & [4, 7] \\ [5, 8] & [4, 6] & [5, 8] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{31(1)} &= \begin{bmatrix} [4, 5] & [6, 7] & [8, 9] \\ [5, 7] & [4, 5] & [3, 4] \\ [4, 5] & [5, 6] & [7, 8] \end{bmatrix}, U_{ij}^{31(2)} = \begin{bmatrix} [3, 4] & [5, 6] & [4, 6] \\ [5, 6] & [4, 6] & [5, 7] \\ [7, 8] & [4, 7] & [6, 8] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{12(1)} &= \begin{bmatrix} [5, 6] & [5, 7] & [8, 9] \\ [3, 4] & [4, 5] & [3, 5] \\ [5, 6] & [7, 8] & [6, 8] \end{bmatrix}, U_{ij}^{12(2)} = \begin{bmatrix} [4, 6] & [6, 7] & [5, 6] \\ [5, 7] & [5, 7] & [4, 6] \\ [5, 6] & [4, 7] & [8, 9] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{22(1)} &= \begin{bmatrix} [6, 8] & [6, 8] & [7, 9] \\ [3, 5] & [4, 5] & [4, 5] \\ [5, 6] & [8, 9] & [5, 6] \end{bmatrix}, U_{ij}^{22(2)} = \begin{bmatrix} [4, 6] & [6, 8] & [4, 6] \\ [5, 6] & [4, 6] & [5, 7] \\ [6, 8] & [4, 5] & [6, 8] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{32(1)} &= \begin{bmatrix} [4, 6] & [6, 8] & [8, 9] \\ [5, 7] & [4, 6] & [3, 5] \\ [4, 6] & [5, 6] & [7, 9] \end{bmatrix}, U_{ij}^{32(2)} = \begin{bmatrix} [3, 5] & [5, 7] & [4, 6] \\ [5, 7] & [4, 6] & [5, 8] \\ [7, 8] & [6, 7] & [6, 8] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{13(1)} &= \begin{bmatrix} [6, 8] & [6, 7] & [8, 9] \\ [3, 4] & [4, 5] & [3, 4] \\ [5, 6] & [7, 8] & [6, 7] \end{bmatrix}, U_{ij}^{13(2)} = \begin{bmatrix} [4, 6] & [6, 7] & [4, 6] \\ [4, 6] & [4, 5] & [4, 7] \\ [5, 6] & [5, 8] & [6, 8] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{23(1)} &= \begin{bmatrix} [5, 8] & [6, 8] & [7, 9] \\ [3, 5] & [4, 6] & [4, 7] \\ [4, 6] & [7, 8] & [4, 6] \end{bmatrix}, U_{ij}^{23(2)} = \begin{bmatrix} [3, 6] & [6, 8] & [5, 6] \\ [6, 7] & [4, 7] & [4, 5] \\ [5, 8] & [4, 6] & [6, 8] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{33(1)} &= \begin{bmatrix} [3, 5] & [6, 8] & [8, 9] \\ [5, 6] & [4, 5] & [3, 5] \\ [4, 5] & [6, 7] & [7, 9] \end{bmatrix}, U_{ij}^{33(2)} = \begin{bmatrix} [3, 5] & [5, 6] & [5, 6] \\ [5, 6] & [4, 6] & [5, 8] \\ [6, 8] & [5, 7] & [7, 8] \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

由于决策目标价格是由各个供应商报价的效果样本值矩阵决定, 并不是决策专家评价的, 对于各个决策专家而言, 此目标效果样本值矩阵是相同的, 各个阶段的效果样本值都为

$$U_{ij}^{kt(3)} = \begin{bmatrix} 8 & 7 & 9 \\ 15 & 12 & 14 \\ 11 & 13 & 10 \end{bmatrix},$$

根据文献[23]的方法, 对各个阶段的质量、竞争力和价格的效果样本值矩阵进行规范化处理, 限于篇幅, 这里不再给出.

Step 3: 对规范化的效果样本值进行阶段间评价信息质量分析(假设 $\varepsilon = 0.5$), 结果表明: 3位决策专家的评价信息在各阶段均属于稳定性评价, 也不存在严重分歧的评价和决策专家; 从各个阶段的质量、竞争力和价格的效果样本值矩阵来看, 都只是处于量变阶段.

Step 4: 假设决策专家较为看重近期数据, 选择 $\text{Orness}(\vartheta^k) = 0.3$, 设 $\zeta = 0.05, \tau = 1$, 根据非线性规划模型(2)计算各个决策专家的阶段权重向量为

$$\begin{aligned}
 \vartheta_t^1 &= (0.1512, 0.2976, 0.5512), \\
 \vartheta_t^2 &= (0.1553, 0.2893, 0.5554), \\
 \vartheta_t^3 &= (0.16, 0.28, 0.56).
 \end{aligned}$$

在上述权重向量计算过程中, $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 的取值是至关重要的, 下面分析3个决策专家的最优局势与 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 之间的关系. 测度 $\text{Orness}(\vartheta^k)$ 的灵敏度, 通过计算表明, 当 Orness 测度的范围为 $\text{Orness}(\vartheta^1) = [0.2635, 0.6226]$, $\text{Orness}(\vartheta^2) = [0.2247, 0.6783]$, $\text{Orness}(\vartheta^3) = [0.2751, 0.6856]$ 时, 各决策专家在各目标下的最优局势保持不变. 基于上述时间权重信息, 将多阶段灰色局势评价信息集结为单阶段评价信息(限于篇幅, 仅给出决策专家1的集结信息), 即

$$\begin{aligned}
 U_{ij}^{1(1)} &= \begin{bmatrix} [0.238, 0.379] & [0.245, 0.366] & [0.338, 0.472] \\ [0.221, 0.415] & [0.295, 0.515] & [0.221, 0.43] \\ [0.235, 0.34] & [0.322, 0.453] & [0.275, 0.413] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{1(2)} &= \begin{bmatrix} [0.212, 0.413] & [0.31, 0.496] & [0.228, 0.425] \\ [0.237, 0.494] & [0.229, 0.46] & [0.214, 0.519] \\ [0.216, 0.377] & [0.21, 0.452] & [0.311, 0.53] \end{bmatrix}, \\
 U_{ij}^{k(3)} &= \begin{bmatrix} 0.333 & 0.292 & 0.375 \\ 0.366 & 0.293 & 0.341 \\ 0.324 & 0.382 & 0.294 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Step 5: 取 $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.5$, 根据模型(6)计算得到决策专家权重 $\lambda^* = 0.3325, 0.3321, 0.3354$. 将各个决策专家单阶段的评价信息集结为群体评价信息, 其效果样本值矩阵为

$$U_{ij} = \begin{bmatrix} [0.242, 0.353] & [0.314, 0.431] & [0.294, 0.415] \\ [0.271, 0.417] & [0.284, 0.428] & [0.257, 0.419] \\ [0.272, 0.369] & [0.264, 0.375] & [0.323, 0.441] \end{bmatrix}.$$

根据群体综合评价效果样本值矩阵可以得到: 对于生产线1而言, 选择供应商2是最优策略; 而对于生产线2, 选择供应商1是最优策略; 对于生产线3, 选择供应商3是最优策略; 对于供应商1, 提供生产线2是最合适的; 对于供应商2, 提供生产线2是最合适的; 对于供应商3, 提供生产线3是最合适的. 由此可见, 最优局势为 S_{33} .

3 结 论

本文针对多阶段灰色局势群决策问题,从决策专家各阶段的评价信息质量分析入手,给出了评价阶段质变和量变的定义;基于各阶段的评价信息和 Orness 测度,以相邻阶段信息偏差最小为原则建立了非线性规划模型以确定各阶段的时间权重,并分析了在保持最优局势不变的情况下 Orness 测度的取值范围,为决策专家 Orness 取值提供了参考;基于决策专家意见的一致性,构建了决策专家权重模型,并对专家意见进行集结,进而对每个事件的局势进行排序,得到最优局势.该方法便于计算机程序操作,为解决多阶段灰色局势群决策问题提供了一种新思路.但是,对于决策专家进行评价过程中反复讨论并修改评价信息的多轮交互式灰色局势群决策是需要进一步研究的.

参考文献(References)

- [1] Deng J L. Intelligence space in grey situation decision[J]. *J of Grey System*, 1998, 10(3): 254-262.
- [2] Deng J L. Grey prediction and grey decision[M]. Wuhan: Press of Huazhong Uiversity of Science & Technology, 2002: 56-61.
- [3] Liu S F, Lin Y. Grey information: Theory and practical applications[M]. London: Springer, 2006: 89-92.
- [4] Lin C T, Shih N H, Chuang W C. Stock trading strategy based on grey situation decision model: An empirical study of the electronic component industry in Taiwan[J]. *J of Grey System*, 2006, 18(3): 239-250.
- [5] Lin C T, Chang H F. Performance evaluation for medical industry in Taiwan: Applying grey situation decision making[J]. *J of Grey System*, 2012, 22(3): 219-226.
- [6] Shan X, Wang X Z, Liu S X. Decision-making of missile flexible support sites locating in wartime with fuzzy numbers and grey Situation[J]. *J of Naval Aeronautical and Astronautical University*, 2011, 26(6): 703-706.
- [7] Huang G X, Wang X B, Wang Y L. Scheme the artillery fire plan by grey situation analysis[J]. *Ordnance Industry Automation*, 2012, 31(2): 31-37.
- [8] Wang Y B, Jia X S, Wang G Y. Method of integration for currency maintenance resources based on grey situation decision-making[J]. *Fire Control & Comm and Control*, 2013, 38(4): 4-8.
- [9] Chen L M, Zheng P, Ji S X. Grey situation evaluation of supply chain cooperative relationship based on cobweb model[J]. *logisticstech*, 2012, 31(7): 321-323.
- [10] Wang Z X, Dang Y G, Song C P. Multi-objective decision model of grey situation based on interval number[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(3): 388-392.
- [11] Luo J F, Liu Y Q, Xu K L. Parameter establishment of intelligent algorithm based on uniform design and grey situation decision[J]. *J of Shenyang University of Technology*, 2010, 32(1): 84-89.
- [12] Liu Y, Jeffrey Forrest, Zhao H H, et al. Multi-objective grey target decision-making method based on prospect theory[J]. *Control and Decision*, 2013, 28(3): 345-350.
- [13] Liu Y, Jeffrey Forrest, Liu S F. Multi-objective grey situation decision making model and application with interval numbers based on linear transformation operator with rewarding good and punishing bad[J]. *Statistics & Information Forum*, 2012, 12(7): 22-26.
- [14] Zhou L, Luo D. Study on decision-making dethod for multi-objective grey situation decision[J]. *J of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power*, 2010, 31(4): 150-153.
- [15] Wang Y M, Dang Y G. New method in situation decision making based on entropy[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2009, 31(6): 1350-1352.
- [16] Chen D J, Zhang S H, Chen J Y. Research of gray general situation decision and its application[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2004, 26(4): 423-429.
- [17] Yager R R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics*, 1988, 18(1): 183-190.
- [18] Fuller R, Majlender P. An analytic approach for obtaining maximal entropy OWA operator weights[J]. *Fuzzy Set and Systems*, 2001, 124(1): 53-57.
- [19] 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, 13(11): 2866-2873.
- [20] Xu Z S. Multi-period multi-attribute group decision-making under linguistic assessments[J]. *Int J of General Systems*, 2009, 38(8): 823-850.
- [21] Liu X W. A general model of parameterized OWA aggregation with given orness level[J]. *Int J of Approximate Reasoning*, 2008, 48(2): 598-627.
- [22] Vicenc T. Effects of orness and dispersion on WOWA sensitivity[J]. *Artificial Intelligence Research and Development*, 2008, 184(2): 430-437.
- [23] Mao J J, Wang C C, Yao D B. Method for multi-attribute group decision-making based on multi-experts' interval numbers[J]. *J of Computer Applications*, 2012, 32(3): 649-653.

(责任编辑:李君玲)