

文章编号: 1001-0920(2013)03-0345-06

基于前景理论的多目标灰靶决策方法

刘勇¹, Forrest Jeffrey², 刘思峰¹, 刘家树¹

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 211106; 2. 宾州州立 SR 大学 数学系, 宾夕法尼亚 16057)

摘要: 针对权重信息部分已知且属性值为区间数的多目标决策问题, 考虑决策者风险态度对多目标决策的影响, 提出一种基于前景理论的区间数多目标灰靶决策方法. 该方法利用奖优罚劣的区间数线性变换算子对原始决策信息进行规范化处理, 设计正负理想靶心, 并定义前景价值函数. 利用该构建方案建立优化模型以得出最优权重向量, 并最终确定出方案的排序. 最后, 通过一个实例验证了该模型适用于具有风险态度特性的区间数多指标决策, 并且表明了该模型的有效性和可行性.

关键词: 前景理论; 灰靶决策; 线性变换算子; 价值函数; 权重函数

中图分类号: N94

文献标志码: A

Multi-objective grey target decision-making based on prospect theory

LIU Yong¹, FORREST Jeffrey², LIU Si-feng¹, LIU Jia-shu¹

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China; 2. Mathematics Department, Slippery Rock University of USA, Pennsylvania 16057, USA. Correspondent: LIU Yong, E-mail: cily1985528@163.com)

Abstract: In view of the multi-objective decision problem that the attribute values are interval grey numbers and the attribute weights partially known, considering the impact on the multi-objective decision from risk attitudes, the multi-objective grey target decision-making method based on prospect theory is proposed. Firstly, the interval number linear transformation operator with the features of the "rewarding good and punishing bad" is used to standardize the original decision-making information and get the positive and negative ideal bull's eye. According to the prospect theory and grey target decision making method, the prospect value function is defined, and an optimization model is built, then the optimum weight vector is solved, and the order of the program is determined. Finally, an example shows the feasibility and effectiveness of the model, and illustrates that the proposed model is suitable used in multi-objective decision making with interval numbers.

Key words: prospect theory; grey target decision-making; linear transformation operator; value function; weight function

0 引言

灰靶决策是灰色系统理论中非唯一性原则在决策理论上的应用和体现, 通过在一组模式序列中, 找出最靠近目标值的数据构建标准模式, 各模式与标准模式构成灰靶, 标准模式为靶心^[1-3]. 自邓聚龙^[1]提出灰靶决策以来, 众多专家学者都投身于对灰靶决策的研究.

在围绕灰靶决策和多目标决策模型探讨研究方面, 文献[2]基于欧氏距离定义了靶心距, 并构建了 s 维球形灰靶; 文献[4]提出了一种动态多目标决策模

型; 文献[5]通过程序统计模拟对邓氏灰靶不相容问题出现的频率进行了计算, 对邓氏灰靶的不相容问题进行了研究; 文献[6]构建了对不同属性指标进行初始化处理的一种新的算子, 并在此基础上建立了加权灰靶决策模型和指标值为区间数的多指标灰靶决策模型; 而文献[7]针对一类权重信息未知并且属性值为区间灰数的灰色风险型多属性群决策问题进行了探讨, 提出了一种基于理想矩阵的相对优属度决策方法. 然而, 上述文献对于灰靶决策和多目标决策模型的研究, 无论是具有靶心的球形灰靶决策模型还是无靶心的矩形灰靶决策模型, 在对其进行分析时, 均对不

收稿日期: 2011-09-05; 修回日期: 2011-11-28.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71173104, 71171113, 70901041, 71271226); 南京航空航天大学博士学位论文创新与创优基金项目(BCXJ12-12); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX12.0175).

作者简介: 刘勇(1985-), 男, 博士生, 从事灰色理论的研究; Jeffrey Forrest(1959-), 男, 教授, 博士生导师, 美国非线性科学院院士, 从事数学及一般系统论、非线性分析与应用等研究.

同决策目标的重要性不加区别,在进行综合评价时对所有目标效果样本值同等看待^[8],这种简单化处理往往直接影响到决策结果的科学性.鉴于这些问题,文献[9]考虑到各指标间的相关性、不同量纲和重要性差异对决策效果的影响,利用加权马氏距离对传统的灰靶决策方法进行改进,并研究了改进后灰靶的性质;文献[10-11]对3种类型指标进行强“奖优罚劣”算子作用,并以优化模型求解指标权重,进而构建了基于强“奖优罚劣”算子的多指标灰靶决策模型和基于正负靶心的灰靶决策模型;文献[12]针对具有满意域的效益型、成本型和适中型等不同性质的决策目标,构造出效益型目标效果测度、成本型目标效果测度和适中型目标下限效果测度和适中型目标上限效果测度等4种新型一致效果测度函数,并且提出了一种新的多目标加权灰靶决策模型.

近20年来,灰靶决策在应用方面也取得了许多成果,如:李其深^[13]将其运用到石油开发方案的评价;田厚建等^[14]利用灰靶决策方法进行军事决策;李晓亚等^[15]在分析和比较了DEA和灰靶评估两种方法之后,给出一种可用于生产效率评价的灰靶评估算法,并进行生产效率评估;冯建友等^[16]将灰靶理论引入企业财务研究,并使用Altman模型对企业财务状况进行评价;聂鸣等^[17]提出了高科技企业核心刚性影响因素指标体系,并使用灰靶方法对调研数据进行研究;解志坚等^[18-19]使用灰靶方法对武器系统效能和战技指标对武器系统效能影响程度进行了评价和优化;申卯兴等^[20]针对空中目标威胁排序问题,提出了一种基于灰色定权聚类决策的空中目标威胁排序方法;王敬敏等^[21]利用区间数理论给出智能电网评价指标的区间值,以此作为评价的模拟决策数据,然后依据多指标灰靶模型对各模拟建设方案进行综合评价,发掘智能电网建设中的优势环节和缺点,为智能电网的规划和发展提供借鉴.

纵观灰靶决策的相关文献,不论是理论的探讨或模型的研究,还是相关应用,都没有考虑决策者风险态度对多指标决策的影响,而在实际决策过程中,决策者对方案主观上的风险偏好会直接影响最终决策结果,因此有必要在多指标决策模型中考虑决策者的风险心理因素.而前景理论是由Kahneman等^[22-23]提出的,它发现了理性决策研究没有意识到的行为模式,认为个体通过将概率转化为决策权重函数,可对不同结果分派非概率权重,并融入了依序理论,以避免违背随机优势,这样能更准确地反映决策者面临损失时偏好风险,高估小概率事件,面临获得时厌恶风险,低估发生概率较大事件的心理特征,正好可以满足决策者的风险偏好.

鉴于此,针对权重信息部分未知,且属性值为区

间数的多目标决策问题,在前人研究的基础上,本文将前景模型的基本理论与灰靶决策方法相结合,通过利用奖优罚劣线性变换算子对指标信息规范化处理,定义正负理想靶心构建正理想方案和负理想方案,进而运用前景理论定义前景价值函数和确定前景值最大化的优化模型,用于解决多目标灰靶决策问题.该模型为具有风险态度的区间数多指标决策提供了一种科学、实用的方法,并利用实例验证了该方法的科学性与可行性.

1 基于前景理论的灰色灰靶决策方法

1.1 多目标灰靶决策方法及奖优罚劣的线性变换算子

定义1 设多指标决策问题有 n 个决策方案,组成决策方案集 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, m 个评价指标组成指标集 $O = \{o_1, o_2, \dots, o_m\}$.由于决策信息并非一个具体的精确数,而是一个区间灰数,方案 S_i 对指标 O_j 的效果样本值 $u_{ij}(i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m)$ 为区间数,记为 $u_{ij} = [x_{ij}^L, x_{ij}^U]$,其中 x_{ij}^L 和 x_{ij}^U 分别为方案 S_i 对指标 O_j 的效果样本值的上限和下限,则方案集 S 对指标集 O 的效果样本矩阵为

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1m} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [x_{11}^L, x_{11}^U] & [x_{12}^L, x_{12}^U] & \cdots & [x_{1m}^L, x_{1m}^U] \\ [x_{21}^L, x_{21}^U] & [x_{22}^L, x_{22}^U] & \cdots & [x_{2m}^L, x_{2m}^U] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [x_{n1}^L, x_{n1}^U] & [x_{n2}^L, x_{n2}^U] & \cdots & [x_{nm}^L, x_{nm}^U] \end{bmatrix}. \quad (1)$$

决策过程中指标集中的各指标具有不同的量纲和属性,为了将各种指标进行直接比较,需要将原始效果样本矩阵进行初始化处理.常用的初始化方法较多,如均值化变换、始点零化象变换、初值化变换和区间值化变换等^[2],然而这些方法不能体现奖优罚劣的思想^[24].为了更好地体现前景理论中的收益和损失,本文利用Vague和集对分析的思想,即将当评价对象指标值优于平均水平时,赋正值1;劣于平均水平时,赋负值-1.借鉴奖优罚劣的思想,生成奖优罚劣的 $[-1, 1]$ 线性变换算子对指标进行无量纲化处理.

定义2 令

$$Z_j = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (x_{ij}^L + x_{ij}^U),$$

$$i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

若指标为效益型,则有

$$[y_{ij}^L, y_{ij}^U] = \left[\frac{x_{ij}^L - z_j}{|z_j|}, \frac{x_{ij}^U - z_j}{|z_j|} \right]; \quad (3)$$

若指标为成本型, 则有

$$[y_{ij}^L, y_{ij}^U] = \left[\frac{z_j - x_{ij}^U}{|z_j|}, \frac{z_j - x_{ij}^L}{|z_j|} \right]. \quad (4)$$

变换后的矩阵记为

$$D = ([y_{ij}^L, y_{ij}^U])_{n \times m}. \quad (5)$$

这样得到 y_{ij}^L 有可能小于 -1 , y_{ij}^U 有可能大于 1 . 因此, 可用下面的变换将矩阵 D 规范化, 得到规范化决策矩阵

$$R = ([r_{ij}^L, r_{ij}^U])_{n \times m}, \quad (6)$$

其中

$$[r_{ij}^L, r_{ij}^U] = \left[\frac{y_{ij}^L}{\max_j (|y_{ij}^L|, |y_{ij}^U|)}, \frac{y_{ij}^U}{\max_j (|y_{ij}^L|, |y_{ij}^U|)} \right]. \quad (7)$$

以上变换称为 $[-1, 1]$ 区间数线性变换算子.

由此易知 $r_{ij}^L, r_{ij}^U \in [-1, 1]$, 因此, 可对指标进行上述变换得到方案 S_i 对指标 O_j 的效果样本值一致性能效果测度矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} [r_{11}^L, r_{11}^U] & [r_{12}^L, r_{12}^U] & \cdots & [r_{1m}^L, r_{1m}^U] \\ [r_{21}^L, r_{21}^U] & [r_{22}^L, r_{22}^U] & \cdots & [r_{2m}^L, r_{2m}^U] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [r_{n1}^L, r_{n1}^U] & [r_{n2}^L, r_{n2}^U] & \cdots & [r_{nm}^L, r_{nm}^U] \end{bmatrix}. \quad (8)$$

定义 3^[6] 设

$$r_j^+ = \max\{(r_{ij}^L + r_{ij}^U)/2 | 1 \leq i \leq n\},$$

$$j = 1, 2, \dots, m,$$

其对应的值记为 $[r_{ij}^{(+L)}, r_{ij}^{(+U)}]$, 则称

$$r^+ = \{r_1^+, r_2^+, \dots, r_m^+\} = \{[r_{i_0 1}^{(+L)}, r_{i_0 1}^{(+U)}], [r_{i_0 2}^{(+L)}, r_{i_0 2}^{(+U)}], \dots, [r_{i_0 m}^{(+L)}, r_{i_0 m}^{(+U)}]\} \quad (9)$$

为灰靶决策最优效果向量, 称为区间数正靶心.

定义 4 设

$$r_j^- = \min\{(r_{ij}^L + r_{ij}^U)/2 | 1 \leq i \leq n\},$$

$$j = 1, 2, \dots, m,$$

其对应的值记为 $[r_{ij}^{(-L)}, r_{ij}^{(-U)}]$, 则称

$$r^- = \{r_1^-, r_2^-, \dots, r_m^-\} = \{[r_{i_0 1}^{(-L)}, r_{i_0 1}^{(-U)}], [r_{i_0 2}^{(-L)}, r_{i_0 2}^{(-U)}], \dots, [r_{i_0 m}^{(-L)}, r_{i_0 m}^{(-U)}]\} \quad (10)$$

为灰靶决策的最劣效果向量, 称为区间数负靶心.

根据灰靶理论, 每个指标与靶心的接近程度反映了指标的优劣. 鉴于此, 本文利用灰色关联分析方法, 计算每个指标与正负靶心的正负关联系数.

定义 5 设 r_j^+ 与 r_j^- ($j = 1, 2, \dots, m$) 分别为区间数正负靶心, 则称

$$\xi_{ij}^+ = \frac{\min_i \min_j |r_{ij} - r_j^+| + \rho \max_i \max_j |r_{ij} - r_j^+|}{|r_{ij} - r_j^+| + \rho \max_i \max_j |r_{ij} - r_j^+|}, \quad (11)$$

$$\xi_{ij}^- = \frac{\min_i \min_j |r_{ij} - r_j^-| + \rho \max_i \max_j |r_{ij} - r_j^-|}{|r_{ij} - r_j^-| + \rho \max_i \max_j |r_{ij} - r_j^-|} \quad (12)$$

分别为区间数正、负靶心系数. 其中

$$|r_{ij} - r_j^+| = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(r_{ij}^L - r_{ij}^{(+L)})^2 + (r_{ij}^U - r_{ij}^{(+U)})^2}$$

为 $[r_{ij}^L, r_{ij}^U]$ 和 $[r_{ij}^{(+L)}, r_{ij}^{(+U)}]$ 的距离; 而

$$|r_{ij} - r_j^-| = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(r_{ij}^L - r_{ij}^{(-L)})^2 + (r_{ij}^U - r_{ij}^{(-U)})^2}$$

为 $[r_{ij}^L, r_{ij}^U]$ 和 $[r_{ij}^{(-L)}, r_{ij}^{(-U)}]$ 的距离, 且 $i = 1, 2, \dots, n$,

$j = 1, 2, \dots, m$, $\rho \in [0, 1]$ 为分辨系数, 一般取 $\rho = 0.5$.

1.2 前景理论

前景理论是根据前景价值的大小选择行动方案. 近年来, 前景理论也得到国内学者的广泛关注和研究^[25-27]. 前景价值是由价值函数和决策权重共同决定的, 即

$$V = \sum_{i=1}^n \pi(p_i) v(x_i). \quad (13)$$

其中: V 为前景价值; $\pi(p)$ 为决策权重, 是概率评价性的单调增函数; $v(x)$ 为价值函数, 是决策者主观感受形成的价值.

若以正理想方案为参考点, 则方案劣于正理想方案. 由前景理论可知, 决策者是面临损失的, 此时决策者是追求风险的. 若以负理想方案为参考点, 方案优于负理想方案, 则决策者是面临收益的, 此时决策者是厌恶风险的.

根据 Tversky 等^[22]在前景理论中给出的价值函数^[22], 可得方案 S_i 的各指标对应的前景效用价值函数, 即

$$v(r_{ij}) = \begin{cases} (1 - \xi_{ij}^-)^\alpha, \\ -\theta [-(\xi_{ij}^+ - 1)]^\beta. \end{cases} \quad (14)$$

其中: 参数 α 和 β 分别表示收益和损失区域价值幂函数的凹凸程度, $\alpha, \beta < 1$ 表示敏感性递减; 系数 θ 表示损失区域比收益区域更陡的特征, $\theta > 1$ 表示损失厌恶.

价值函数是由决策者主观感受形成的, 具有 3 个重要特征: 1) 收益和损失是相对于参考点而言的; 2) 决策者面对收益是风险规避的, 面对损失是风险偏好的; 3) 决策者对损失比收益更敏感.

$v^+(r_{ij}) = (1 - \xi_{ij}^-)^\alpha$ 以负靶心系数为参考点, 作为正前景值; 而 $v^-(r_{ij}) = -\theta [-(\xi_{ij}^+ - 1)]^\beta$ 以正靶心系数为参考点, 作为负前景值. 设决策者面临收益和损失时的前景权重函数分别为 $\pi^+(w_j)$ 和 $\pi^-(w_j)$, 则方案 S_i 的综合前景值为正前景值与负前景值之和, 即

$$V_i = \sum_{j=1}^m v^+(r_{ij})\pi^+(w_j) + \sum_{j=1}^m v^-(r_{ij})\pi^-(w_j), \quad (15)$$

$$\pi^+(w_{ij}) = \frac{w_j^{r^+}}{[w_j^{r^+} + (1-w_j)^{r^+}]^{1/r^+}}, \quad (16)$$

$$\pi^-(w_{ij}) = \frac{w_j^{r^-}}{[w_j^{r^-} + (1-w_j)^{r^-}]^{1/r^-}}. \quad (17)$$

根据文献[23]的研究结果, 本文将前景效用价值函数和前景权重函数中的参数取为 $\alpha = \beta = 0.88$, $\theta = 2.25$, $r^+ = 0.61$, $r^- = 0.69$.

1.3 最优指标权重的确定

本文针对部分权重信息未知且属性值为区间数的多目标决策问题展开研究. 设各方案的决策指标权重向量为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, 且 $\sum_{j=1}^m w_j = 1$. 其中: $a_j \leq w_j \leq b_j, 0 \leq a_j \leq b_j \leq 1$. 对于每个方案 S_i 而言, 其综合前景值总是越大越好, 因此可建立优化模型, 其目标函数为

$$\max V = (V_1, V_2, \dots, V_n). \quad (18)$$

由于各方案之间是公平竞争的, 可得到优化模型

$$\begin{aligned} \max V = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m v^+(r_{ij})\pi^+(w_j) + \\ & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m v^-(r_{ij})\pi^-(w_j); \\ \text{s.t. } & a_j \leq w_j \leq b_j, 0 \leq a_j \leq b_j \leq 1, \\ & \sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j \geq 0, \\ & i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (19)$$

通过 Matlab 遗传算法工具箱编程, 求解上述模型, 可得到最优解 $w^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$, 方案 S_i 的最优综合前景值为

$$V_i^* = \sum_{j=1}^m v^+(r_{ij})\pi^+(w_j^*) + \sum_{j=1}^m v^-(r_{ij})\pi^-(w_j^*). \quad (20)$$

对每个方案的最优综合前景值 $V_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 按大小进行排序, 可得到整个方案集的排序和最优方案.

1.4 基于前景理论的灰靶决策方法的步骤

综上所述, 基于前景理论的多目标灰色局势决策方法的步骤如下:

Step 1: 根据多指标决策问题构造效果样本矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$, 并用 $[-1, 1]$ 区间数线性变换算子, 将效果样本矩阵 U 转化为规范化决策矩阵 $U = (r_{ij})_{n \times m}$;

Step 2: 确定正、负靶心 r_j^+ 与 r_j^- , 并分别计算方案指标 O_j 与正负理想靶心的正负靶心系数以及由其构成的系数矩阵, 并根据式(10)计算各方案的正负前

景矩阵;

Step 3: 以 n 个方案的综合前景值最大化为目标, 建立优化模型, 运用 Matlab 7.0 里面的遗传算法工具箱进行编程求解该模型, 得到最优解 $w^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$;

Step 4: 将 $w^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$ 代入

$$V_i^* = \sum_{j=1}^m v^+(r_{ij})\pi^+(w_j^*) + \sum_{j=1}^m v^-(r_{ij})\pi^-(w_j^*),$$

计算最优综合前景值 $V_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 并将其按从大到小的顺序排列, 便可得到局势最优排序.

2 案例分析

某复杂产品制造企业决定对原有主导产品进行技术改造, 现有 4 个改造方案 S_1, S_2, S_3, S_4 . 考核指标(即准则)如下: O_1 为成本(百万元), O_2 为可靠性(即无故障工作小时)(千小时), O_3 为产品寿命(10 年), O_4 为风险损失值(百万元). 其中: 成本 O_1 与风险损失值 O_4 为悲观准则指标, 可靠性 O_2 与产品寿命 O_3 为乐观准则指标. 决策者给出不完全确定信息形式的准则权重空间为

$$\begin{aligned} \Omega : \{ & 0.2 \leq w_1 \leq 0.4, 0.25 \leq w_2 \leq 0.3, \\ & 0.15 \leq w_3 \leq 0.25, 0.3 \leq w_4 \leq 0.4 \}. \end{aligned}$$

下面确定最优整改方案:

1) 经调查统计得到 2010 年该企业相关参数考核, 为了直观, 使用均匀分布区间表示, 根据调查数据建立效果样本矩阵如下:

$$U = \begin{bmatrix} [5.5, 5.9] & [3.8, 4.2] & [2.4, 2.8] & [0.46, 5.1] \\ [4.6, 5.4] & [6.4, 7.1] & [4.2, 5.1] & [0.52, 0.53] \\ [7.1, 8.9] & [5.0, 6.1] & [3.3, 3.5] & [0.54, 0.67] \\ [6.5, 7.0] & [1.5, 2.1] & [3.6, 4.9] & [0.65, 0.73] \end{bmatrix}.$$

根据 $[-1, 1]$ 区间线性变换算子, 将效果样本矩阵转化为无量纲处理化的决策矩阵

$$R = \begin{bmatrix} [0.1823, 0.3399] & [-0.3484, -0.2036] \\ [0.3793, 0.6946] & [0.5928, 0.8462] \\ [-1.0000, -0.2906] & [0.0860, 0.4842] \\ [-0.2512, -0.0542] & [-1.000, -0.457] \\ [-1.0000, -0.7241] & [0.4015, 0.6934] \\ [0.2414, 0.8621] & [0.2847, 0.3431] \\ [0.3793, 0.4483] & [-0.5328, 0.2263] \\ [-0.1724, 0.7241] & [-1.000, -0.4161] \end{bmatrix}.$$

2) 由决策矩阵可知, 正负靶心分别为

$$r^+ = \{[0.3793, 0.6946], [0.5928, 0.8462],$$

$$[0.2414, 0.8621], [0.4015, 0.6934]\},$$

$$r^- = \{[-1.0000, -0.2906], [-1.0000, -0.4570],$$

$$[-1.000, -0.7241], [-1.000, -0.4161]\}.$$

根据式 (11) 和 (12), 计算得到正负靶心系数矩阵为

$$\xi^+ = \begin{bmatrix} 0.7172 & 0.4219 & 0.3381 & 1.0000 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.7359 \\ 0.3777 & 0.6230 & 0.5797 & 0.4962 \\ 0.5125 & 0.3333 & 0.7023 & 0.3780 \end{bmatrix},$$

$$\xi^- = \begin{bmatrix} 0.4344 & 0.5954 & 1.0000 & 0.3653 \\ 0.3777 & 0.3333 & 0.3381 & 0.4081 \\ 1.0000 & 0.4772 & 0.4368 & 0.5644 \\ 0.5672 & 1.0000 & 0.3815 & 1.0000 \end{bmatrix}.$$

根据式 (14) 计算各方案的正负前景矩阵为

$$V^+ = \begin{bmatrix} 0.6057 & 0.0000 & 0.0000 & 0.6702 \\ 0.6587 & 0.6999 & 0.6955 & 0.6303 \\ 0.0000 & 0.5651 & 0.6033 & 0.4813 \\ 0.4786 & 0.0000 & 0.6552 & 0.0000 \end{bmatrix},$$

$$V^- = \begin{bmatrix} -0.7404 & -1.3891 & -1.5648 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.6972 \\ -1.4821 & -0.9537 & -1.0493 & -1.2307 \\ -1.1957 & -1.5748 & -0.7747 & -1.4816 \end{bmatrix}.$$

3) 以各方案的综合前景值最大化为目标, 建立优化模型

$$\max V = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 v^+(r_{ij})\pi^+(w_j) + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 v^-(r_{ij})\pi^-(w_j);$$

s.t. $0.2 \leq w_1 \leq 0.4, 0.25 \leq w_2 \leq 0.3,$
 $0.15 \leq w_3 \leq 0.25, 0.3 \leq w_4 \leq 0.4,$
 $\sum_{j=1}^4 w_j = 1, w_j \geq 0.$

通过 Matlab 7.0 遗传算法工具箱编程, 计算得出最优权重向量为

$$w^* = (w_1^*, w_2^*, w_3^*, w_4^*) = (0.20, 0.25, 0.15, 0.40).$$

4) 将最优权重向量 $w^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$ 代入

$$V_i^* = \sum_{j=1}^4 v^+(r_{ij})\pi^+(w_j^*) + \sum_{j=1}^4 v^-(r_{ij})\pi^-(w_j^*),$$

得到各方案的最优综合前景值 $V_1^* = -0.4001, V_2^* = 0.4932, V_3^* = -0.8910, V_4^* = -1.2443$, 将 $V_i^* (i = 1, 2, \dots, 4)$ 按从大到小的顺序排列, 便可得到各方案的最优排序 $S_2 > S_1 > S_3 > S_4$.

由计算结果可以看出, 各方案的综合前景值除了方案 S_2 的综合前景值为正数, 其他均为负值, 因此对于复杂产品制造企业, 可在 4 个方案中选择方案 S_2 对主导产品进行技术改造.

由案例分析可知, 基于前景理论的多目标灰靶决

策综合考虑了决策者对于风险的态度和属性值的客观性, 该方法很好地实现了主观与客观的有效结合, 且易于计算实现.

3 结 论

针对属性权重信息不完全确定且属性值为区间数的多目标决策问题, 本文利用奖优罚劣的区间数线性变换算子对多目标灰靶决策值进行规范化, 并定义了符合人们思维方式的正负靶心系数作为正负理想方案; 基于前景理论, 将决策者的风险态度引入多目标灰靶决策, 以定义前景价值函数构建方案的综合前景值最大化的优化模型, 并根据最优综合前景值进行排序, 优选备选方案. 该模型充分考虑了决策者的心理风险因素对决策结果的影响符合决策环境, 同时易于在计算机上操作性. 该方法为解决具有风险态度特性的区间数多目标灰色局势决策问题提供了一种实用的决策方法.

参考文献(References)

- [1] 邓聚龙. 灰预测与决策[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 56-61.
(Deng J L. Grey prediction and grey decision[M]. Wuhan: Press of Huazhong University of Science & Technology, 2002: 56-61.)
- [2] Liu Sifeng, Lin Yi. Grey information: Theory and practical applications[M]. London: Springer, 2006: 89-92.
- [3] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 102-104.
(Liu S F, Dang Y G, Fang Z G, et al. Grey system theory and its application[M]. Beijing: Science Press, 2010: 102-104.)
- [4] 戴文战. 一种动态多目标决策模型及其应用[J]. 控制与决策, 2000, 15(2): 197-200.
(Dai W Z. A new kind of model of the dynamic multiple attribute decision making based on new effective function and its application[J]. Control and Decision, 2000, 15(2): 197-200.)
- [5] 陈勇明, 谢海英. 邓氏灰靶变换的不相容问题的统计模拟检验[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(4): 1285-1287.
(Chen Y M, Xie H Y. Test of the in consistency problem on Deng's grey transformation by simulation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2007, 29(8): 1285-1287.)
- [6] 党耀国, 刘思峰, 刘斌. 基于区间数的多指标灰靶决策模型的研究[J]. 中国工程科学, 2005, 7(4): 31-35.
(Dang Y G, Liu S F, Liu B. Study on the multi-attribute decision model of grey target based on interval number[J]. Engineering Science, 2005, 7(4): 31-35.)
- [7] 罗党, 周玲, 罗迪新. 灰色风险型多属性群决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(5): 1674-1678.

- (Luo D, Zhou L, Luo D X. Grey multi-attribute risk group decision making method[J]. System Engineering and Electromics, 2008, 30(9): 1674-1678.)
- [8] Liu S F, Fang Z G, Lin Y. Study on a new definition of degree of grey incidence[J]. J of Grey System, 2006, 9(2): 115-122.
- [9] 王正新, 党耀国, 杨虎. 改进的多目标灰靶决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(7): 2634-2636.
(Wang Z X, Dang Y G, Yang H. Improvements on decision method of grey target[J]. System Engineering and Electromics, 2009, 31(7): 2634-2636.)
- [10] 宋捷, 党耀国, 王正新. 基于强“奖优罚劣”算子的多指标灰靶决策模型[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(6): 1229-1233.
(Song J, Dang Y G, Wang Z X. Multi-attribute decision model of grey target based on majorant operator of “rewarding good and punishing bad”[J]. System Engineering and Electromics, 2010, 32(6): 1229-1233.)
- [11] 宋捷, 党耀国, 王正新, 等. 正负靶心灰靶决策模型[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(6): 1822-1827
(Song J, Dang Y G, Wang Z X, et al. New decision model of grey target with both the positive clout and the negative clout[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2010, 30(6): 1822-1827.)
- [12] 刘思峰, 袁文峰, 盛克勤. 一种新型多目标智能加权灰靶决策模型[J]. 控制与决策, 2010, 25(4): 1159-1163.
(Liu S F, Yuan W F, Sheng K Q. Multi-attribute intelligent grey target decision model[J]. Control and Decision, 2010, 25(4): 1159-1163.)
- [13] 李其深. 灰靶决策在油田开发方案评价中的应用[J]. 西南石油学院学报, 1993, 15(1): 102-107.
(Li Q S. Application of grey target decision in oil field development program evaluation[J]. J of Southwest Petroleum Institute, 1993, 15(1): 102-107.)
- [14] 田厚建, 吴强, 刘炳琪. 灰靶——军事决策模型的广义解[J]. 军事运筹与系统工程, 1997, (2): 18-20.
(Tian H J, Wu Q, Liu B Q. Grey target the generalized solution of military decision model[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 1997, (2): 18-20.)
- [15] 李晓亚, 崔晋川. 一种可用于生产效率评价的灰靶评估算法[J]. 运筹与管理, 2005, 14(6): 23-28
(Li X Y, Cui J C. A grey target evaluation arithmetic used for productivity evaluation[J]. Operations Research and Management Science, 2005, 14(6): 23-28.)
- [16] Feng Jianyou, Zhang Hua. Grey target model appraising firms financial status based on altman coefficients[J]. The J of Grey System, 2002, 5(3): 274-276.
- [17] 聂鸣, 张利斌, 卢玉廷. 灰靶理论在高科技企业核心刚性识别中的应用[J]. 统计研究, 2005, (6): 62-65.
(Nie M, Zhang L B, Lu Y T. Grey target theory in the high tech core rigid Recognition[J]. Statistical Research, 2005, (6): 62-65.)
- [18] 解志坚, 薄玉成, 解仁奇, 等. 战技指标对武器系统效能影响程度的灰色量化[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(11): 1924-1926.
(Xie Z J, Bo Y C, Xie R Q, et al. System Engineering and Electromics[J]. 2005, 27(11): 1924-1926.)
- [19] 解志坚, 薄玉成. 武器系统效能评定的灰靶理论应用[J]. 兵工学报, 2006, 27(1): 162-165.
(Xie Z J, Bo Y C. Application of grey target theory in evaluating the effectiveness of weapon systems[J]. Acta Armamentar II, 2006, 27(1):162-165.)
- [20] 申仰兴, 许进, 王帅. 空中目标威胁排序的灰色聚类决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(5): 1721-1723.
(Shen M X, Xu J, Wang S. Grey cluster decision making way for the threat ordering of aerial targets[J]. System Engineering and Electromics, 2008, 30(5): 1721-1723.)
- [21] 王敬敏, 孙艳复, 康俊杰. 基于区间数的多指标灰靶模型在智能电网评价中的应用[J]. 华东电力, 2010, 38(6): 1495-1497.
(Wang J M, Sun Y F, Kang J J. Application of interval and multi-grey target model in smart grid evaluation[J]. East China Electric Power, 2010, 38(6): 1495-1497.)
- [22] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk[J]. Economica, 1979, 47(2): 263-291.
- [23] Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty[J]. J of Risk and Uncertainty, 1992, 5(3): 297-323.
- [24] 王坚强. “奖优罚劣”的动态多指标灰色关联度模型研究[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(2): 39-41.
(Wang J Q. Research on decision making model of the dynamic multiple attribute system for“rewarding good and punishing bad”[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(2): 39-41.)
- [25] 周维, 王明哲. 基于前景理论的风险决策权重研究[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(2): 74-78.
(Zhou W, Wang M Z. Weighting risk and uncertaintybased on prospect theory[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2005, 25(2): 74-78.)
- [26] 向钢华, 王永县. 基于累积前景理论的有限理性威慑模型[J]. 系统工程, 2006, 26(8): 108-110.
(Xiang G H, Wang Y X. The model of bounded rational deterrence based on cumulative prospect theory[J]. Systems Engineering, 2006, 26(8): 108-110.)
- [27] 王坚强, 孙腾, 陈晓红. 基于前景理论的信息不完全的模糊多准则决策方法[J]. 控制与决策, 2009, 24(8) : 1198-1202.
(Wang J Q, Sun T, Chen X H. Multi-criteria fuzzy decision-making method based on prospect theory within complete information[J]. Control and Decision, 2009, 24(8) : 1198-1202.)