

12-12-2019

Credible Optimum Selection of Guidance System Simulation Based on Entropy Weight VIKOR Method

Wenguang Yang

1. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; ;2. College of Science, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China;

Yunjie Wu

1. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; ;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Credible Optimum Selection of Guidance System Simulation Based on Entropy Weight VIKOR Method

Abstract

Abstract: As the core component of the missile system, the guidance system plays an increasingly important role in the design of missile system. In order to improve the accuracy of the guidance system, this paper obtains the experimental data under a number of parameter design schemes by means of simulation experiments. *The problem of simulation credibility verification of guidance system is transformed into multi-attribute decision-making optimization problem, and a parameter optimization method of guidance system based on improved VIKOR method is designed. The improved VIKOR method overcomes the phenomenon of rank reversal and ensures that the optimal final compromise solution is the optimal solution which can feed back the decision-maker's mentality.* Combined with the final simulation scheme, the optimal parameters under the background of multi-attribute decision making are obtained, which have higher decision-making significance.

Keywords

VIKOR, creditability, entropy weight, system simulation, optimization

Recommended Citation

Yang Wenguang, Wu Yunjie. Credible Optimum Selection of Guidance System Simulation Based on Entropy Weight VIKOR Method[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(7): 1272-1279.

熵权 VIKOR 方法下的制导系统仿真可信优选研究

杨文光^{1,2}, 吴云洁¹

(1. 北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191; 2. 华北科技学院 理学院, 北京 101601)

摘要: 制导系统作为导弹系统的核心部件, 在导弹系统设计中的地位愈加重要。为提高制导系统的精度, 利用仿真实验获取了多组参数设计方案下的实验数据。将制导系统的仿真可信性验证问题转化为多属性决策优化问题, 设计了基于改进 VIKOR 方法的制导系统参数优选方法。改进后 VIKOR 方法克服了秩序反转现象发生, 且保证优选的最终妥协解是能够反馈决策者心态的最优解。结合最终的仿真方案, 获得了多属性决策背景下的最优参数, 具有较高的决策意义。

关键词: VIKOR; 可信性; 熵权; 系统仿真; 优化

中图分类号: N945.13 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 07-1272-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-0193

Credible Optimum Selection of Guidance System Simulation Based on Entropy Weight VIKOR Method

Yang Wenguang^{1,2}, Wu Yunjie¹

(1. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. College of Science, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China)

Abstract: As the core component of the missile system, the guidance system plays an increasingly important role in the design of missile system. In order to improve the accuracy of the guidance system, this paper obtains the experimental data under a number of parameter design schemes by means of simulation experiments. The problem of simulation credibility verification of guidance system is transformed into multi-attribute decision-making optimization problem, and a parameter optimization method of guidance system based on improved VIKOR method is designed. The improved VIKOR method overcomes the phenomenon of rank reversal and ensures that the optimal final compromise solution is the optimal solution which can feed back the decision-maker's mentality. Combined with the final simulation scheme, the optimal parameters under the background of multi-attribute decision making are obtained, which have higher decision-making significance.

Keywords: VIKOR; credibility; entropy weight; system simulation; optimization

引言

随着仿真技术研究的日益深入, 仿真过程中遇

到的仿真对象表现出更加复杂的不确定性、未知性, 且仿真规模也越来越大。仿真对象受到自身与外部多重因素的限制与影响^[1], 在进行仿真性能优劣的判断时就要同时考虑到不同的性能指标, 这属于典型的多属性多指标决策问题的研究范畴。如何在众多的影响因素和属性指标作用下, 选择出具有较好性能, 又兼顾到指标属性重要程度程度的仿真方案, 逐渐成为仿真可信性验证中的一



收稿日期: 2019-05-05 修回日期: 2019-06-24;
基金项目: 国家自然科学基金(91216304, 11801173),
河北省数据科学与应用重点实验室开放课题
(HBSJQ0708), 华北科技学院概率论与数理统计校级
重点学科(06DV09);
作者简介: 杨文光(1981-), 男, 河北涿水, 博士生,
副教授, 研究方向为仿真可信性验证。

<http://www.china-simulation.com>

• 1272 •

个值得关注的问题^[2-4]。

在多属性多指标决策问题中, 由于通常会涉及到不确定性信息, 所以很多学者将模糊综合评判、逼近理想解排序法(TOPSIS)、层次分析法与灰色关联分析方法进行多种方法的综合, 得到了处理模糊环境下的多种决策方法^[5-8]。在多属性决策方法中, 1981 年产生的 TOPSIS 方法因其操作相对简单, 且同时考虑到了正负理想解, 所选择的最优解应该是与正理想解距离最近而与负理想解距离最远, 从而具有评价的全面性而备受关注^[6-8]。然而, 文献[9]通过实例验证了传统的 TOPSIS 方法存在设计缺陷, 当增添、删减或者替换原来的被评价对象时, 可能会出现评价结果排序颠倒的前后矛盾的现象, 也就是 rank reversal (秩反转), 这显然是不合理的。另外, TOPSIS 方法在比较距离时也没有考虑到不同距离的重要性, 最终的评价结果无法说明是反映了多数人的决策意见还是折中意见。与 TOPSIS 方法比较, 1998 年产生的多准则妥协解排序法(VIKOR)则引入了决策策略系数, 能够按照需求对决策策略进行调整^[10-12]。文献[11]指出传统的 VIKOR 方法也会出现秩序反转现象, 因此对其进行改进使其克服秩序反转问题将是一个非常有益的尝试。

制导系统是关系到武器系统性能高低的核心部件, 它的设计主要包括目标动力学、导弹相对运动、导引头动力学、制导律与导弹动力学等五部分。制导系统的各部分高度耦合成为一个整体, 表现出了较强的非线性, 考虑到成本限制与控制性能, 关于制导系统参数的优选问题就成为了一种典型的多属性多指标决策问题。借助于大量的仿真实验, 获取制导系统各种参数选择下的仿真结果, 在兼顾性能最优的情况下, 尽可能的压低各项成本, 目前许多学者使用多属性决策方法为导弹系统的科学设计决策提供了快捷高效的新途径。文献[4]建立了导弹制导系统不确定决策模型, 使用 Monte-Carlo 方法设计了经验概率分布函数, 结合 TOPSIS 方法给出了满足鲁棒性的最优决策方案。

但该文献所给出的各个决策因素权值是依据决策者的主观偏好给定的, 给实际方案的选择又会造成新的不确定性。文献[13]在 TOPSIS 方法基础上解决了导弹制导系统的一体化设计中的参数离散优化问题, 但对权值的选择也仍然需要结合决策者的需要进行再次选择。文献[14]对 3 种不同赋权方式下的制导系统 TOPSIS 决策设计方法进行了对比研究, 表明熵权法在权值确定方面优于层次分析法与经验赋权法, 但是该文献并没有研究 TOPSIS 自身的秩反转问题是否会影响评价的可信性与一致性。文献[15]采用 VIKOR 方法研究了决策者处于不同心态下的备选方案的折中解, 有效解决了制导系统参数变化带来的优选困难, 但该文献采用的仍是传统的 VIKOR 方法, 无法避免秩序反转问题的出现。

本文将在 VIKOR 方法研究的基础上, 进行适当的改进, 使其能够避免秩序反转现象的发生, 然后进行导弹制导系统不同参数设计下的仿真实验, 因为所有数据均来自于仿真实验, 故引入相对客观的熵权法, 利用获取的实验数据进行参数的优选, 保证在兼顾较高控制性能和较低成本的情况下, 使得评价结果具有较高的可信性与前后的一致性。

1 熵权 VIKOR 方法

VIKOR 方法与 TOPSIS 方法比较, 有相似之处也有较多的差异, 该方法首先需要确定所有方案的正负理想解, 其后在进行待选方案比较时, 只需要度量待选方案与正理想解的接近程度, 无需比较待选方案与负理想解的相关性, 最终给定的排序结果是综合考虑可接受的优势(Acceptable advantage)和可接受的决策稳定性(Acceptable stability in decision making)两方面属性要求确定的。因此, 由 VIKOR 方法计算所得的结果是两方面属性彼此相互折中让步的结果。

1.1 VIKOR 方法的改进

假设已经收集整理得到含 m 个指标属性的待评价对象的 n 组实验结果(即 n 组评价方案), 下面

设计一种能够有效避免秩序反转现象发生的改进型的 VIKOR 方法。

步骤 1 收集得到原始的决策矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$ ，为了去除量纲对数据决策的影响，首先对原始决策矩阵进行标准化转换，生成标准化决策矩阵 $Y = (y_{ij})_{n \times m}$ 。

对于效益型指标而言，标准化方法采用如式(1):

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (1)$$

而对于成本型指标而言，标准化方法则采用如式(2):

$$y_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (2)$$

通常而言，传统的 VIKOR 方法在待选方案增添、删减或者替换时各个指标属性的权值是不变的，这是导致秩序反转问题出现的一个潜在原因。为此，对数据矩阵 $Y = (y_{ij})_{n \times m}$ 再进行归一化处理，然后采用熵权法进行权值的计算，保证在增添、删减或者替换原有评价方案时，权值可以随数据的变化适时地调整。

对标准化决策矩阵 $Y = (y_{ij})_{n \times m}$ 归一化时采用如式(3):

$$z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^n y_{ij}} \quad (3)$$

步骤 2 按照下列两式计算 S_i 与 R_i :

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j u_{ij} \quad (4)$$

$$R_i = \max_j (w_j u_{ij}) \quad (5)$$

式中: $u_{ij} = \frac{\max_i z_{ij} - z_{ij}}{\max_i z_{ij} - \min_i z_{ij}}$; w_j 是第 j 个指标属性的权值; $j = 1, 2, \dots, m$ 。

步骤 3 计算评估值 $Q_i, (i = 1, 2, \dots, n)$ 如式(6):

$$Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}, \quad (6)$$

式中: v 表示决策策略系数，一般而言， $v \in [0, 1]$ ，当 $v = 0.5$ 时，表示均衡折中的情形，在本文中取

$$v = 0.5; S^* = \min_i (S_i), S^- = \max_i (S_i), R^* = \min_i (R_i), R^- = \max_i (R_i)。$$

步骤 4 对评价方案的评估值 $Q_i, (i = 1, 2, \dots, n)$ 按照升序排列。

步骤 5 确定最优妥协解。 $Q_i, (i = 1, 2, \dots, n)$ 取值越小，表明方案越优，得到最终排序为 $C_1 \succ C_2 \succ \dots \succ C_n$ 。同时，照以下 2 个条件进行检验:

(1) 判断 C_2 与 C_1 对应的评估值是否大于 $\frac{1}{n-1}$ ，若大于，则表明 C_1 具有可接受优势: $Q(C_2) - Q(C_1) \geq \frac{1}{n-1}$ 。

(2) 对 S_i 与 $R_i, (i = 1, 2, \dots, n)$ 进行升序排列，若 C_1 仍排在第一位，则说明 C_1 满足可接受稳定性。

以上 2 个条件都满足的 C_1 就是最优妥协解。

1.2 熵权法确定权值

1948 年，信息论专家香农开创性的提出了“信息熵”概念，建立了熵权法，为客观度量系统信息提供了有益帮助。下面将按照熵权法给出上面待评价方案的 m 个指标属性的权值。

步骤 1 计算各个指标属性的信息熵:

$$H_j = -k \sum_{i=1}^n z_{ij} \ln z_{ij} \quad (7)$$

式中: $k = \frac{1}{\ln n}$ ， k 表示调节参数。信息熵取值越小，反映系统越有序，反之，则系统越无序。

步骤 2 由于 z_{ij} 会出现 $z_{ij} = 0$ 的情况，为了保证 $\ln z_{ij}$ 有意义，将公式(7)转化为如式(8)^[16]:

$$H'_j = -k \sum_{i=1}^n z'_{ij} \ln z'_{ij} \quad (8)$$

$$\text{式中: } z'_{ij} = \frac{1 + z_{ij}}{\sum_{i=1}^n (1 + z_{ij})}。$$

步骤 3 确定各个指标属性的权值:

$$w_j = \frac{1 - H'_j}{m - \sum_{j=1}^m H'_j}, j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

改进的 VIKOR 方法结合熵权法即可完成对待选方案的排序和最优方案的选定。

2 制导系统

导弹与普通武器的根本区别就在于它具有制导系统。导弹的制导系统是用于测量和计算导弹与目标或者空间基准线的相对位置,按照预定的导引律来控制导弹飞达目标的系统。因此,制导系统性能的优劣直接关系到导弹性能的优劣,是导弹的核心部件。随着对导弹命中精度要求的愈加严格,制导系统在导弹系统设计中的作用也愈加的突出。

2.1 自寻的制导系统模型

下面选择自寻的制导系统作为仿真可信优选的研究对象。自寻的制导系统主要由导引头、信号处理单元与控制系统等3部分构成,其组成结构见图1。

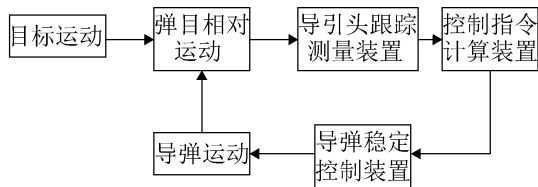


图 1 自寻的制导系统结构图

Fig. 1 Structure diagram of self-homing guidance system

设弹目相对距离为 R , 导弹与目标的速度分别为 v_M 与 v_T , 导弹的弹道倾角为 θ_M , 目标的航迹角为 θ_T , 弹目视线角为 q , 则弹目之间的相对运动方程可以表示为公式(10-11):

$$R\dot{q} = v_M \sin(q - \theta_M) - v_T \sin(q - \theta_T) \quad (10)$$

$$\dot{R} = -v_M \cos(q - \theta_M) + v_T \cos(q - \theta_T) \quad (11)$$

导弹的弹道倾角与其法向加速度之间满足如式(12)所示:

$$a_M = v_M \dot{\theta}_M \quad (12)$$

式中: a_M 为导弹法向加速度。

目标航迹角与目标法向加速度之间满足如式(13)所示:

$$a_T = v_T \dot{\theta}_T \quad (13)$$

式中: a_T 为目标法向加速度。

假设制导控制律采用比例导引律,则导弹法向加速度指令 a_{MC} 为:

$$a_{MC} = \begin{cases} -n_{zm}\dot{q}, N|\dot{R}| & \dot{q} < -n_{zm}\dot{q} \\ N|\dot{R}| & \dot{q} \leq n_{zm}\dot{q} \\ n_{zm}\dot{q}, N|\dot{R}| & \dot{q} > n_{zm}\dot{q} \end{cases} \quad (14)$$

式中: N 表示比例导引律中的导航比; n_{zm} 表示过载限幅值,在本文仿真中, N 与 n_{zm} 均是制导系统的关键指标属性,是需要优选的参数。

在整个制导过程中,采用带有一阶惯性环节的传递函数表示导引头的动力学特性:

$$\dot{q}_M(s) = \frac{e^{-\tau s}}{T_s s + 1} \dot{q}(s) \quad (15)$$

式中: \dot{q}_M 表示导引头测量到的视线角速率; \dot{q} 表示弹目视线角速率; \dot{q} 是输入; \dot{q} 是输出; τ 表示制导系统的延迟环节的延迟时间; T_s 表示导引头动力学时间常数。在本文仿真中, τ 是一个指标属性,其取值越大越容易硬件实现, τ 为一个待优化的参数,另外,取 $T_s=0.015$ 。

假设导弹法向加速度输入指令 a_{MC} 与导弹法向加速度 a_M 满足如下传递函数关系:

$$\frac{a_M(s)}{a_{MC}(s)} = \frac{1}{T_M^2 s^2 + 2\xi_M T_M s + 1} \quad (16)$$

式中: ξ_M 为导弹弹体动力学模型的阻尼比; T_M 为导弹弹体动力学模型的时间常数。在本文仿真中,取 $T_M=0.2$, 取 $\xi_M=0.7$ 。

假设目标法向加速度 a_T 与目标法向加速度输入指令 a_{TC} 满足如下传递函数关系:

$$\frac{a_T(s)}{a_{TC}(s)} = \frac{1}{T_T^2 s^2 + 2\xi_T T_T s + 1} \quad (17)$$

式中: ξ_T 为目标动力学模型的阻尼比; T_T 为目标动力学模型的时间常数。在本文仿真中,取 $T_T=0.1$, 取 $\xi_T=0.7$ 。

2.2 评价指标的选择

自寻的制导系统在设计过程中,需要重点对两类指标予以考虑,一类是效益型指标,包括延迟时间 τ ; 另一类是成本型指标,包括过载限幅值 n_{zm} 、导航比 N 、导弹脱靶量的样本均值 m_d 、导弹脱靶量的样本标准差 s_d 。选择导弹脱靶量的样本标准差

而非样本方差的目的 在于保证与导弹脱靶量的样本均值的量纲一致。对于效益型指标，其取值是越大越好，而对于成本型指标，其取值则是越小越好。此外，关系到制导系统性能的参数还包括初始发射条件、导弹弹体动力学模型的阻尼比、导弹弹体动力学模型的时间常数等。由于导弹自动驾驶技术已经成熟，因此导弹弹体动力学模型的阻尼比与时间常数在备选参数方案优选时不予考虑^[15]。而对于初始条件则变化多样，为了简化参数的优选评估，在本文仿真时，导弹和目标的初始条件、弹目的初始相对距离都予以先行确定。

3 仿真分析

制导系统的参数优选问题本质上讲就是仿真可信性验证问题，通过仿真获取相关性能指标的数据，借助于本文所提出的改进 VIKOR 方法进行多属性决策分析，力求找到各种指标属性折中意义下的最优解。对于上面选定的 5 个指标属性：延迟时间 τ (单位为 ms)、过载限幅值 n_{zm} 、导航比 N 、导弹脱靶量的样本均值 m_d (单位为 m)、导弹脱靶量的样本标准差 s_d (单位为 m)，它们的参数取值都各有特点。参考相关文献的选择^[13-15]，5 种指标进行交叉组合，其参数组合方式多达几十种，为选择典型的评估方案，弹目的相对距离初始值选定为 $R_0=6\ 000\text{ m}$ ，导弹的弹道倾角初始值 θ_{M0} 和目标的航迹角初始值 θ_{T0} 分别选定为如下 3 种特定的情况^[13]：

- (1) $\theta_{M0} = 40^\circ, \theta_{T0} = 0^\circ$;
- (2) $\theta_{M0} = 40^\circ, \theta_{T0} = -30^\circ$;
- (3) $\theta_{M0} = 40^\circ, \theta_{T0} = -120^\circ$ 。

预先设定的参数还有：目标速度 v_T 取 1.2 马赫数，目标法向加速度指令 a_{TC} 选择幅值为 9g 的方波，规定其角频率为 $0.5\pi\text{ rad/s}$ 。此外，假设导弹速度(马赫数)采用如下变速形式^[13]：

$$v_M(t) = \begin{cases} 1.2 + \frac{4.5-1.2}{4}t, 0 \leq t \leq 4\text{s} \\ 4.5 - \frac{4.5-2}{24}(t-4), t > 4\text{s} \end{cases} \quad (18)$$

进行仿真实验，获取各种性能指标数据。图 2 给出的是 $N=4, \tau=15\text{ ms}, n_{zm}=40$ 时，导弹的弹道倾角初始值 θ_{M0} 和目标的航迹角初始值 θ_{T0} 取上面 3 种特定的情况下的弹目相对距离变化曲线图。提取 3 种特定初始条件下的导弹脱靶量，进而可以计算出该参数取值情况下的导弹脱靶量的样本均值 m_d 与导弹脱靶量的样本标准差 s_d 。

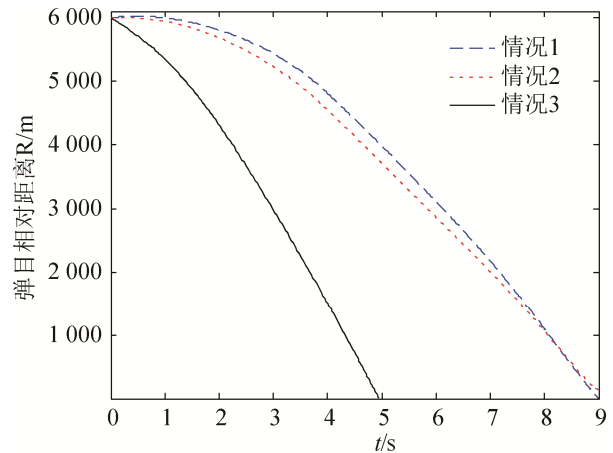


图 2 三种特定参数情况下的弹目相对距离变化曲线
Fig. 2 Relative distance curve of missile and target under three specific parameters

图 2 中的曲线“情况 1”对应于 (1) $\theta_{M0} = 40^\circ, \theta_{T0} = 0^\circ$ ；曲线“情况 2”对应于 (2) $\theta_{M0} = 40^\circ, \theta_{T0} = -30^\circ$ ；曲线“情况 3”对应于 (3) $\theta_{M0} = 40^\circ, \theta_{T0} = -120^\circ$ 。变换参数的交叉组合。最终选择 12 组典型的仿真参数待选方案，具体取值如表 1 所示。

按照公式(3)计算可得归一化后的决策矩阵

$$\mathbf{Z} = (z_{ij})_{n \times m} : \mathbf{Z} = \begin{pmatrix} 0.003 & 0.0037 & 0.1667 & 0 & 0.1667 \\ 0 & 0 & 0.1667 & 0.1667 & 0.1667 \\ 0.1015 & 0.1087 & 0.0833 & 0 & 0.1667 \\ 0.1003 & 0.1071 & 0.0833 & 0.1667 & 0.1667 \\ 0.0899 & 0.0939 & 0 & 0 & 0.1667 \\ 0.0909 & 0.0938 & 0 & 0.1667 & 0.1667 \\ 0.0972 & 0.0972 & 0.1667 & 0 & 0 \\ 0.0942 & 0.0963 & 0.1667 & 0.1667 & 0 \\ 0.123 & 0.1074 & 0.0833 & 0 & 0 \\ 0.1206 & 0.1075 & 0.0833 & 0.1667 & 0 \\ 0.0902 & 0.0931 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0893 & 0.0912 & 0 & 0.1667 & 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

表 1 制导系统仿真典型待评估方案参数
Tab. 1 Typical parameters of the guidance system simulation scheme to be evaluated

方案	m_d	s_d	N	τ	n_{zm}
A_1	57.534 3	73.424 8	4	15	40
A_2	58.829 2	75.936 2	4	20	40
A_3	14.767 6	1.470 8	6	15	40
A_4	15.282 4	2.583 5	6	20	40
A_5	19.806 3	11.639 6	8	15	40
A_6	19.374 3	11.693 8	8	20	40
A_7	16.606	9.358 3	4	15	50
A_8	17.912 7	9.990 1	4	20	50
A_9	5.406 4	2.362	6	15	50
A_{10}	6.440 4	2.298	6	20	50
A_{11}	19.663 1	12.159 6	8	15	50
A_{12}	20.046 9	13.501 5	8	20	50

采用熵权法计算权值向量为:

$$w = (0.1991, 0.1991, 0.2001, 0.2008, 0.2008) \quad (20)$$

根据公式 (4)、(5)、(6) 计算 S_i 、 R_i 与 Q_i ($i=1, 2, \dots, n$), 并将 Q_i ($i=1, 2, \dots, n$) 按照升序排列, 所得结果见表 2。

最终的排序结果为:

$$A_4 \succ A_8 \succ A_6 \succ A_{10} \succ A_3 \succ A_2 \succ A_7 \succ A_5 \succ A_{12} \succ A_9 \succ A_1 \succ A_{11}.$$

按照最优妥协解的两个条件分别进行检验, 验证可得 $Q(C_2) - Q(C_1) = 0.6199 \geq \frac{1}{n-1} = \frac{1}{11}$, 且 C_1 在 S_i 与 R_i 的升序排列中也是第一名, 所以方案 4 是最优妥协解。

根据表 2 结果可知, 使用传统 VIKOR 方法的排序结果为:

$$A_4 \succ A_6 \succ A_8 \succ A_{10} \succ A_3 \succ A_7 \succ A_5 \succ A_9 \succ A_{12} \succ A_{11} \succ A_2 \succ A_1.$$

改进后的 VIKOR 方法与传统 VIKOR 方法优选出的第一名是一致的, 但对于其他方案则存在排序的差异性。对于方案 A_8 与 A_6 而言, A_8 比 A_6 有 3 种指标属性取值占优, 一种指标属性取值相同, 一种指标属性取值略弱, 从性能与成本折中角度来看, A_8 略优于 A_6 , 故本文改进的 VIKOR 方法结果更可信。

为了进一步说明本文方法优于传统 VIKOR 方法, 下面对仿真实验给出的 12 组原始待选方案进行随机删除, 比如删除方案 A_{10} , 然后按照本文方法, 检验秩序反转现象是否发生, 同时给出采用传统 VIKOR 方法的结果对比, 详见表 3。

删减方案 A_{10} 后, 使用本文方法的排序结果为:

$$A_4 \succ A_8 \succ A_6 \succ A_3 \succ A_2 \succ A_7 \succ A_5 \succ A_{12} \succ A_9 \succ A_1 \succ A_{11},$$

显然, 采用本文方法在删减原有方案后没有发生秩序反转现象。而使用传统 VIKOR 方法的排序结果为:

$$A_4 \succ A_6 \succ A_3 \succ A_8 \succ A_5 \succ A_7 \succ A_9 \succ A_{12} \succ A_2 \succ A_{11} \succ A_1,$$

对于传统的 VIKOR 方法, 则出现了秩序反转问题, 表 3 与表 2 中的传统 VIKOR 方法排序结果进行对比, 如 A_3 与 A_8 , A_5 与 A_7 等都在删减方案后发生了秩序反转。

表 2 改进熵权 VIKOR 方法与传统 VIKOR 方法结果对比

Tab. 2 Comparison of improved entropy weight VIKOR method and traditional VIKOR method

方案	本文方法 S_i	本文方法 R_i	本文方法 Q_i	本文方法排序	VIKOR 方法 Q_i	VIKOR 方法排序
A_1	0.587 5	0.200 8	0.911 7	11	0.974 1	12
A_2	0.398 2	0.199 1	0.729 2	6	0.835 6	11
A_3	0.335 8	0.200 8	0.680 2	5	0.457 6	5
A_4	0.139 8	0.100 1	0	1	0	1
A_5	0.481 8	0.200 8	0.814 5	8	0.598 2	7
A_6	0.279 5	0.200 1	0.624 9	3	0.401 2	2
A_7	0.464 5	0.200 8	0.798 6	7	0.583 1	6
A_8	0.270 2	0.200 8	0.619 9	2	0.412 6	3
A_9	0.504 1	0.200 8	0.835	10	0.600 3	8
A_{10}	0.307	0.200 8	0.653 7	4	0.426 2	4
A_{11}	0.683 5	0.200 8	1	12	0.777 4	10
A_{12}	0.487 7	0.200 8	0.819 9	9	0.605 4	9

表 3 删减方案后的对比结果
Tab. 3 Comparison results after deletion

方案	本文方法 S_i	本文方法 R_i	本文方法 Q_i	本文方法排序	VIKOR 方法 Q_i	VIKOR 方法排序
A_1	0.587 8	0.201 3	0.911 8	10	0.956 4	11
A_2	0.398	0.199	0.725 9	5	0.827 5	9
A_3	0.336 3	0.201 3	0.680 6	4	0.419 9	3
A_4	0.139 9	0.100 1	0	1	0	1
A_5	0.482 3	0.201 3	0.814 9	7	0.587 2	5
A_6	0.279 6	0.200 2	0.622 9	3	0.416 9	2
A_7	0.464 6	0.201 3	0.798 6	6	0.638 8	6
A_8	0.269 8	0.200 5	0.615 3	2	0.477 3	4
A_9	0.504 3	0.201 3	0.835 1	9	0.659 2	7
A_{11}	0.683 7	0.201 3	1	11	0.836 9	10
A_{12}	0.487 4	0.200 5	0.815 3	8	0.674 1	8

4 结论

仿真可信性验证是实物实验成功的重要保证,而仿真系统的参数优选正逐渐成为仿真验证的重要一环。本文选择导弹自寻的制导系统,依据制导系统性能、成本等诸多因素将制导系统的仿真参数优选问题转化为多属性决策问题,建立了基于改进 VIKOR 方法的可信优选方法。保证在兼顾较高控制性能和较低成本的情况下,使得评价结果具有较高的可信性与前后的一致性。本文构建的方法结合熵权法,有效克服了传统 VIKOR 方法容易出现秩序反转现象的不足,结合最终的仿真方案,获得了多属性决策背景下的最优参数,因此具有较高的决策价值。

参考文献:

- [1] 陈建平, 扈延光, 刘向坤, 等. 考虑环境因素及可信度的可靠性仿真方法[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(32): 150-154.
Chen Jianping, Hu Yanguang, Liu Xiangkun, et al. Reliability Simulation Considering Environmental Factors and Credibility[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(32): 150-154.
- [2] 陈永兴, 吴晓燕, 卜祥伟, 等. 基于风险分析的仿真可信性控制[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(9): 2411-2416.
Chen Yongxing, Wu Xiaoyan, Bu Xiangwei, et al. Simulation credibility control based on risk analysis[J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2014, 34(9): 2411-2416.
- [3] 张国新, 王瑜. 基于可信性理论的模糊离差 MADM 模型研究[J]. 大学数学, 2010, 26(6): 129-133.
Zhang Guoxin, Wang Yu. A Study on MADM Model of Fuzzy Deviation Based on Credibility Theory[J]. College Mathematics, 2010, 26(6): 129-133.
- [4] 张一航, 侯明善. 基于 Monte-Carlo 仿真的制导系统多准则决策设计方法[J]. 电子设计工程, 2013, 21(23): 43-46.
Zhang Yihang, Hou Mingshan. Robust multi-criteria decision making for guidance system design parameters[J]. Electronic Design Engineering, 2013, 21(23): 43-46.
- [5] Mon Donlin, Cheng Chingsue, Lin Jiannchern. Evaluating weapon system using fuzzy analytic hierarchy process based on entropy weight[J]. Fuzzy Sets and Systems (S0165-0114), 1994, 62: 127-134.
- [6] Sun Chiachi. A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods[J]. Expert Systems with Applications (S0957-4174), 2010, 37(12): 7745-7754.
- [7] Zhou Shenghan, Liu Wei, Chang Wenbing. An improved TOPSIS with weighted hesitant vague information[J]. Chaos, Solitons and Fractals (S0960-0779), 2016, 89: 47-53.
- [8] Zhang Zhuo, Wang Yanyu, Wang Zhengxin. A grey TOPSIS method based on weighted relational coefficient[J]. Journal of Grey System (S0957-3720), 2014, 26(2): 112-123.
- [9] Wang Yingming, Luo Ying. On rank reversal in decision analysis[J]. Mathematical and Computer Modelling

- (S0895-7177), 2009, 49(5/6): 1221-1229.
- [10] Opricovic S. Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems[D]. Belgrade: University of Belgrade, 1998.
- [11] Blanca Ceballos, David A Pelta, María T. Lamata Rank Reversal and the VIKOR Method: An Empirical Evaluation[J]. International Journal of Information Technology & Decision Making (S0219-6220), 2018, 17(2): 513-525.
- [12] Opricovic S, Tzeng G H. Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS[J]. European Journal of Operational Research (S0377-2217), 2004, 156(2): 445-455.
- [13] 张一航, 侯明善. 制导系统设计参数多准则优化决策方法研究[J]. 兵工学报, 2014, 35(1): 70-75.
Zhang Yihang, Hou Mingshan. Multi-criteria Decision-making for Guidance System Design Parameters[J]. Acta Armamentarii, 2014, 35(1): 70-75.
- [14] 杜婷, 侯明善. 不同赋权 TOPSIS 制导系统设计决策比较[J]. 现代电子技术, 2014, 37(9): 15-19.
Du Ting, Hou Mingshan. Comparison among different weighting TOPSIS methods of design parameter decision making for guidance system[J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(9): 15-19.
- [15] 董典, 侯明善, 殷春武. 导弹拦截目标制导系统的 VIKOR 方法参数设计[J]. 计算机仿真, 2016, 33(4): 53-57.
Dong Dian, Hou Mingshan, Yin Chunwu. Parameter Design for Guidance System Based on VIKOR Approach[J]. Computer Simulation, 2016, 33(4): 53-57.
- [16] 易晨星, 侯克鹏, 张紫晗. 基于熵权-云模型的岩体质量分级研究[J]. 矿冶工程, 2018, 38(1): 20-24.
Yi Chenxing, Hou Kepeng, Zhang Zihan. Rock Mass Quality Classification Based on Cloud Model with Entropy Weight[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2018, 38(1): 20-24.