

doi: 10.7690/bgzdh.2020.03.013

基于组合权重的武器方案评价

张登谦, 王惠源, 王海旭, 王捷
(中北大学机电工程学院, 太原 030051)

摘要: 为提高武器方案评价时指标权重的可解释性, 提出一种基于方差最大化的组合权重的评价方法。分别计算各指标主、客观权重, 以指标权重处于主、客观权重之间为约束, 以评价结果方差最大化为目标, 对方案进行评价, 并通过 6 种枪械实例进行验证。结果表明, 该方法既能考虑指标本身的重要程度, 又能顾及指标间的差异性, 其指标权重具有较高的可解释性。

关键词: 方差最大化; 组合权重; 主观权重; 客观权重; 枪械评估

中图分类号: TJ22 **文献标志码:** A

Evaluation of Weapon Effectiveness Based on Combination Weight

Zhang Dengqian, Wang Huiyuan, Wang Haixu, Wang Jie

(School of Mechanical and Electrical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In order to improve the interpretability of the index weights in the evaluation of weapons programs, an evaluation method based on the combination weights with maximum variance was proposed. This method firstly calculates the subjective and objective weights of each index, and then evaluates the scheme with the objective of maximizing the variance of the evaluation results and the constraint of the index weights between the subjective and objective weights. The combined weights not only take into account the importance of the indicators themselves, but also take into account the differences between the indicators. The feasibility of this method is verified by the application of six kinds of rifles.

Keywords: maximum variance; combined weight; subjective weight; objective weight; rifle assessment

0 引言

武器效能研究对于武器研制至关重要。人们试图通过建立不同的数学模型来对武器进行评价^[1], 以此筛选出性能更优的方案。

目前对于武器效能评价指标的权重方法, 主要有主观法、客观法和组合赋权法。主观赋权法主要有 AHP 法、G1 法和 BWM 法等^[2-4], 是由专家根据经验主观判断得到, 体现了指标本身的重要程度; 客观赋权法主要有熵权法、DEA 法和基尼系数赋权法等^[5-7], 由权重的实际数值计算得到, 一般依据指标在评价对象的区分度计算得到, 不体现指标本身的重要性。为了既考虑指标本身重要性, 又考虑评价指标的区分度, 可采用主客观权重组合。乘法合成法^[8]将对应主客观权重相乘, 其结果会出现“倍增效应”, 即导致主、客观权重大的组合权重更大, 而权重小的指标组合权重更小; 加法合成法^[9-11]取决于主、客观权重系数分配, 而对于同一赋权方法不同指标采用相同的调整系数, 其组合方法过于呆板。

为提高评价指标权重可解释性问题, 笔者提出一种基于方差最大化的组合赋权方法, 对不同指标

采用不同的调整系数, 以评价结果方差最大作为目标, 有效提高权重可解释性。

1 组合权重的确定

1.1 主观权重确定

层次分析法是指将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统, 将目标分解为多个目标或准则, 进而分解为多指标的若干层次, 通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序和总排序, 以作为目标、多方案优化决策的系统方法。基本步骤如下^[12]:

- 1) 建立层次模型;
- 2) 构造比较矩阵;
- 3) 计算权向量和一致性检验;
- 4) 计算组合权向量并做组合一致性检验。

1.2 客观权重的确定

按照信息论基本原理, 信息是系统有序程度的度量, 熵是系统无序程度的度量。指标的信息熵越小, 该指标提供的信息量越小, 在综合评价中所起作用越小, 权重就越低; 因此, 可利用信息熵, 计算各个指标的权重—熵权, 基本步骤如下。

收稿日期: 2020-01-06; 修回日期: 2020-01-21

作者简介: 张登谦(1994—), 男, 陕西人, 硕士, 从事军事运筹学(武器效能评价)研究。E-mail: 921675968@qq.com。

1.2.1 指标初始化

武器评价指标主要有 2 类：1) 极大值型指标，越大越好，例如初速等指标；2) 极小值型指标，越小越好，例如武器质量等指标。为消除量纲和正负指标所带来的影响，应该对指标值进行处理，具体做法如下：

正向指标：

$$x_{ik} = \frac{x_{ik}^* - \min_{1 \leq k \leq n} x_{ik}^*}{\max_{1 \leq k \leq n} x_{ik}^* - \min_{1 \leq k \leq n} x_{ik}^*} \quad (1)$$

负向指标：

$$x_{ik} = \frac{\max_{1 \leq k \leq n} x_{ik}^* - x_{ik}^*}{\max_{1 \leq k \leq n} x_{ik}^* - \min_{1 \leq k \leq n} x_{ik}^*} \quad (2)$$

式中含义为第 k 个指标值与最大值(最小值)的偏差，相对于最大值和最小值之差的距离。

1.2.2 指标值信息熵计算

$$E_i = -\sum_{i=1}^n P_{in} \ln(P_{in}) / \ln(n) \quad (3)$$

式中： $P_{in} = \frac{x_{im}}{\sum_{i=1}^n x_{im}}$ ； n 为评估方案个数。

1.2.3 指标熵权权重确定

通过信息熵计算得到 E_1, E_2, \dots, E_k ，各指标熵权权重为：

$$v_j = \frac{1 - E_j}{k - \sum_{i=1}^k E_i} \quad (4)$$

1.3 组合权重计算

方差最大化赋权方法主要思路：通过不同的方法获得主、客观权重，得到各个指标权重的取值范围，然后引入一个未知权重，使得最终赋权结果的方差最大而确定最终的组合权值。

方差最大化法确定融合权重步骤如下。

1.3.1 计算权重矩阵

设有 m 个赋值方法， k 个评价指标，其权重矩阵为 $A = [a_{ij}]_{k \times m} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{km} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_k \end{bmatrix}$ 。

其中 a_{ij} 为第 j 个指标在第 i 个赋权方法下所获得的权值： $i=1, 2, 3, \dots, k; j=1, 2, 3, \dots, m$ 。

1.3.2 计算组合权重区间

由矩阵 A 可以确定指标 $a = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_k)$ 的取值范围； $a_i \in [a_i^-, a_i^+]$ 。其中： $a_i^- = \min\{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\}$ ， $a_i^+ = \max\{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\}$ 。

1.3.3 综合评价结果

设 n 个方案 k 个评价指标的得分矩阵为

$$x = [x_{ij}]_{k \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} = [x_1, x_2, \dots, x_n]$$

则其综合评价结果为：

$$Z = Ax = [Ax_1, Ax_2, \dots, Ax_n] \quad (5)$$

1.3.4 综合评价结果的方差

由式(5)得计算结果的均值：

$$\bar{Z} = (1/n)(Ax_1 + Ax_2 + \dots + Ax_n) = A(1/n)(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = A\bar{x}$$

评价结果的方差为：

$$\begin{aligned} s^2 &= (1/n-1) \sum_{i=1}^n (Ax_i - A\bar{x})^2 = \\ &= (1/n-1) \sum_{i=1}^n (A(x_i - \bar{x}))^2 = \\ &= (1/n-1) \sum_{i=1}^n (Ay_i)^2 = \\ &= (1/n-1) \sum_{i=1}^n (Ay_i)(Ay_i)^T = \\ &= (1/n-1) \sum_{i=1}^n A(y_i y_i^T) A^T = \\ &= (1/n-1) \sum_{i=1}^n AHA^T \end{aligned}$$

式中： $y_i = x_i - \bar{x}$ ， $H = y_i y_i^T$ 。

1.3.5 组合权重计算

通过以上公式得权重融合模型为：

$$\max \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n AHA^T, \text{ s.t. } \begin{cases} \sum_{i=1}^k a_i = 1 \\ a_i^- \leq a_i \leq a_i^+ \end{cases} \quad (6)$$

通过式(6)保证了组合权重使评价结果方差最大，能较好区分不同方案。

1.3.6 综合评估结果的计算

将式(6)计算所得权重 a_i 和对应的指标值 x_{ij} 相

结合，得出第 j 个方案的得分： $Z_j = \sum_{i=1}^k a_i x_{ij}$ 。

$$Z_j = \sum_{i=1}^k a_i x_{ij} \quad (7)$$

2 模型验证

2.1 实例应用

以 6 款枪械方案 A、B、C、D、E、F 评价为例，验证笔者提出的基于组合权重的枪械效能评价方法，步骤如下：

1) 构建枪械效能评价指标。结合专家意见给出如表 1 所示的枪械评价标。

表 1 枪械方案评价指标

编号	名称	类型	极性
1	全枪质量	定量	极小
2	全枪长	定量	极小
3	射击精度	定性	极小
4	故障率	定性	极小
5	全枪寿命	定性	极大
6	弹丸初速	定量	极大

2) 评价指标矩阵构建。通过定性和定量方法给出评价指标矩阵如表 2 所示。

表 2 枪械方案评价指标矩阵

方案	指标 1	指标 2	指标 3	指标 4	指标 5	指标 6
A	4.03	874	0.7	0.5	0.5	714
B	3.60	955	0.7	0.5	0.5	722
C	3.50	746	0.3	0.7	0.7	918
D	3.50	744	0.3	0.7	0.7	918
E	3.50	947	0.3	0.7	0.9	907
F	3.50	883	0.3	0.7	0.7	914

3) 主观权重计算。根据 1—9 标度法，得到满足一致性要求的指标比较矩阵如表 3。

表 3 指标判断矩阵

指标	1	2	3	4	5	6
1	1/3	1/4	1/5	1/3	1/2	1/3
2	3	1	1/3	1/4	1/3	1/2
3	4	3	1	1/2	3	3
4	5	4	2	1	3	2
5	2	3	1/3	1/3	1	1/2
6	3	2	1/3	1/2	2	1

由表 2 计算得到主观权重分别为 $u=(0.050\ 6, 0.082\ 3, 0.266\ 7, 0.332\ 2, 0.117\ 0, 0.151\ 2)$ 。

4) 客观权重计算。指标值矩阵标准化得到

$$x = \begin{bmatrix} 0 & 0.383\ 9 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.589\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0.039\ 2 \\ 0.726\ 0 & 0.990\ 5 & 1 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0.726\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0.726\ 0 & 0.037\ 9 & 1 & 0 & 1 & 0.946\ 1 \\ 1 & 0.341\ 2 & 1 & 0 & 0.5 & 0.980\ 4 \end{bmatrix}。$$

由式(3)计算出信息熵为 $E=(0.889\ 7, 0.714\ 2,$

$0.773\ 7, 0.386\ 9, 0.743\ 5, 0.796\ 9)$ 。

由式(4)计算出熵权值为 $v=(0.066\ 1, 0.155\ 1, 0.135\ 7, 0.367\ 6, 0.153\ 8, 0.121\ 8)$ 。

5) 组合权重计算。将以上计算得到的数值代入式(6)得 $w=(0.058\ 3, 0.118\ 6, 0.201\ 3, 0.349\ 9, 0.135\ 4, 0.136\ 5)$ 。

6) 计算方案效能。通过式(7)计算得到方案效能值为 $Z=(0.395\ 5, 0.389\ 6, 0.565\ 3, 0.566\ 4, 0.512\ 6, 0.501\ 6)$ ，即方案 D > 方案 C > 方案 E > 方案 F > 方案 A > 方案 B，方案 D 最优，方案 B 最差。

2.2 结果分析

在以上 6 个方案中，方案 D 有最优的全枪长、射击精度和弹丸初速，因而作为最优方案具有可解释性。

方案 B 虽然有最低的故障率，但其射击精度差，弹丸初速低，且全枪最长，因而作为最差方案也较为合理。

3 结论

笔者提出一种基于主客观权重相结合的评价方法，以评价结果方差最大为目标，以各指标权重值和为 1，且权重处于主客观权重之间为约束，既考虑了指标本身的重要性，又顾及了评价指标的客观性。区别于传统的加法合成法和乘法合成法，该评价方法具有较好的可解释性。实例应用结果证明了该方法的可行性。

参考文献：

- [1] 张杰, 唐宏, 苏凯, 等. 效能评估方法研究[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 12-50.
- [2] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 73-90.
- [3] SAATY T L. The Modern Science of Multi-criteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach[J]. Operations research, 2013, 61(5): 1101-1118.
- [4] REZAEI J. Best-worst multi-criteria decision-making Method[J]. Omega, 2015, 53(2): 49-57.
- [5] 李刚, 迟国泰, 程砚秋. 基于熵权 TOPSIS 法的人的全面评价模型及实证[J]. 系统工程学报, 2011, 26(3): 400-407.
- [6] 刘满凤, 李圣宏. 基于三阶段 DEA 模型的我国高新技术开发区创新效率研究[J]. 管理评论, 2016, 28(1): 42-52.
- [7] 李刚, 程砚秋, 董霖哲, 等. 基尼系数客观赋权方法研究[J]. 管理评论, 2014, 26(1): 12-22.

[8] 周弘波, 张金成. 基于组合权重的灰色目标威胁评估[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(10): 1819-1823.

[9] 倪小刚, 曹菲. 最优权系数组合赋权在导弹质量评估中的应用[J]. 长春理工大学学报, 2011, 34(4): 140-144.

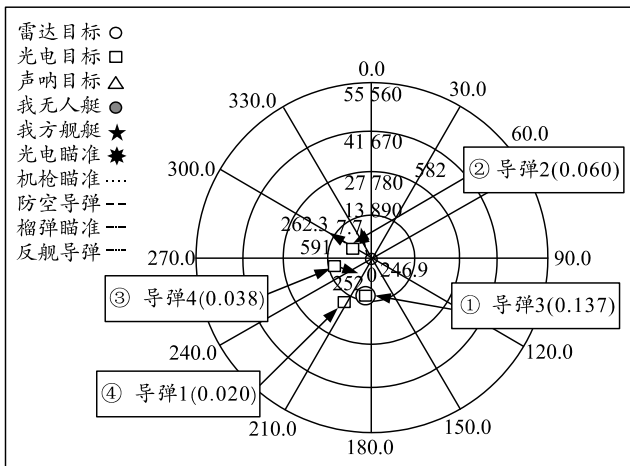
[10] 李志坚, 刘晓利, 王文文. 基于新灰色评估法的空地导弹系统效能分析[J]. 指挥控制与仿真, 2015, 37(2):

74-78.

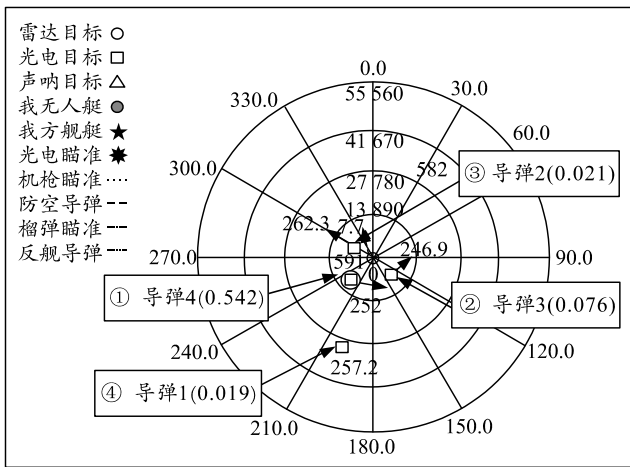
[11] 耿涛, 张安, 郝兴国. 基于组合赋权 TOPSIS 法的空战多目标威胁评估[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(3): 16-19.

[12] 姜启源. 数学模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 43-98.

(上接第 56 页)



(c) T_2 时刻



(d) T_3 时刻

图 4 不同时刻空中目标威胁态势(同类型目标)

5 结束语

针对应用多属性决策的目标威胁评估方法, 笔者通过计算威胁指标值的信息熵, 确定各指标的属

性权重, 一定程度上避免了主观随意性, 采用模糊数学的方法, 通过构造隶属度函数, 避免了大机动目标属性值的快速变化影响目标威胁排序的问题。通过静态数值计算和动态模拟仿真, 较好地验证了算法的有效性和合理性, 为目标威胁判断的实际运用提供了参考。

参考文献:

[1] 汤志荔, 张安. 战场威胁估计理论与方法研究[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(9): 1-4.

[2] 黄海明. 舰艇防空目标威胁评估研究概述[J]. 舰船电子工程, 2014, 34(11): 5-8, 23.

[3] 吴志泉, 史红权, 王勃. 对空威胁判断方法研究综述[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(11): 1-4, 73.

[4] 张肃. 空中目标威胁评估技术[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2005, 27(1): 41-45.

[5] 谭吉玉, 朱传喜, 张小芝, 等. 基于 TOPSIS 的区间直觉模糊数排序法[J]. 控制与决策, 2015, 30(11): 2014-2018.

[6] 雷英杰, 王宝树, 王毅. 基于直觉模糊推理的威胁评估方法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(9): 2077-2081.

[7] 樊治平, 赵莹. 多属性决策中权重确定的主客观赋权法[J]. 决策与决策支持系统, 1997, 7(4): 87-91.

[8] 卞泓斐, 杨根源. 基于动态贝叶斯网络的舰艇防空作战威胁评估研究[J]. 兵工自动化, 2015, 34(6): 14-19.

[9] 季傲, 姜礼平, 吴强. 基于改良云模型的舰艇防空威胁评估[J]. 火力与指挥控制, 2016, 41(5): 35-38.

[10] 张银燕. 基于云模型理论的空中目标威胁评估方法[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2013.

[11] 朱方霞, 陈华友. 确定区间数决策矩阵属性权重的方法—嫡值法[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2006, 30(5): 4-6.