

基于熵权 TOPSIS 法的防空兵指挥模式效能评估

吴海波, 梁甲慧, 曾前腾

(空军空降兵学院, 广西 桂林 541003)

摘要: 依据系统评估的需要, 结合防空兵指挥信息系统当前的实际情况, 运用基于熵权 TOPSIS 法对比研究了传统防空兵指挥模式与基于防空兵指挥信息系统的指挥模式的效能发挥程度, 给出了防空兵指挥模式效能评估案例, 并通过 MATLAB 实现了评估计算快速、精确, 弱化了主观因素, 使得评估可信度更高。

关键词: TOPSIS 法; 防空兵指挥模式; 效能评估

本文引用格式: 吴海波, 梁甲慧, 曾前腾. 基于熵权 TOPSIS 法的防空兵指挥模式效能评估[J]. 四川兵工学报, 2014(5): 115-118.

中图分类号: TP391.9; E274.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2014)05-0115-05

Evaluation of Air Defense Force Commanding Model Based on Entropy Weight TOPSIS

WU Hai-bo, LIANG Jia-hui, ZENG Qian-teng

(Air Force Airborne Academy, Guilin 541003, China)

Abstract: The evaluation on the efficiency of air defense force model is of great importance for the air defense force in its air defense operations. In this paper, an index system is set up for the evaluation on the efficiency of the air defense force model. On the basis of the reality of the information system, the major steps of evaluation based on TOPSIS are presented, and a case study is made. Fast and accurate evaluations are realized in the MATLAB application, and subjective factors are reduction weakened and its credibility is increased.

Key words: TOPSIS; air defense force model; evaluation

Citation format: WU Hai-bo, LIANG Jia-hui, ZENG Qian-teng. Evaluation of Air Defense Force Commanding Model Based on Entropy Weight TOPSIS[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(5): 115-118.

近年来,防空兵指挥信息系统建设取得了明显成效,通过“减少指挥层次,增加指挥跨度,优化指挥流程”的思路,改革了传统的以平台为中心的思维模式,构建了与防空兵指挥信息系统相融合的作战指挥新模式^[1]。确定防空兵指挥模式效能的发挥程度,既是非常难的课题,又是必须解决的课题。TOPSIS法是一种多属性目标的逼近理想解的排序方法,方法较为简单,计算量小,在方案评选中应用较为广泛^[2],但此方法仅考虑对理想解的相对贴近度,并不能完全反映出诸方案的优劣情况,需要引入对应指标体系的权重概念。当前常用的赋权方法有:环比系数法、AHP方法、最小二

乘法、离差最大化法等,虽然这些赋权方法各有优点,但受人为因素影响较大,缺乏一定的客观性,而熵权法是根据灰色决策系统自身状态确定权重的方法,减少了方案评估中的人为因素,增加了决策的科学性。将熵权法与TOPSIS法相结合,取长补短,可以较为客观准确地反映评价结果。

1 防空兵指挥模式效能评估指标的建立

防空兵指挥过程就是指挥员和指挥机关获取和加工信息、制定控制程序并实施控制的完整过程。其中,指挥信息

收稿日期: 2013-12-15

基金项目: 全军军事学研究生资助课题(2012JY002-605)。

作者简介: 吴海波(1981—),男,硕士研究生,主要从事防空作战指挥研究。

的流动过程是:收集各种情报信息,加工处理指令信息,再接受各种反馈信息,获取指挥对象及战场环境信息、上级指挥机关指挥信息以及完成战斗任务的监督信息,再处理,再输出,不断循环^[3]。建立防空兵指挥模式效能评估指标体系可依据战斗指挥周期中的信息流动过程将指挥模式抽取为3个阶段,即:指挥信息的收集和传递阶段、指挥信息的处理和决策阶段、指挥控制阶段。把这3个阶段放在指挥体系中,相应地对防空兵指挥模式的评估体系本文选取指挥体系效能、信息收集传递效能、信息处理决策效能、指挥控制效能作为评估效能的一级评价指标,然后将其逐个分解为二级、三级指标(如图1所示)。

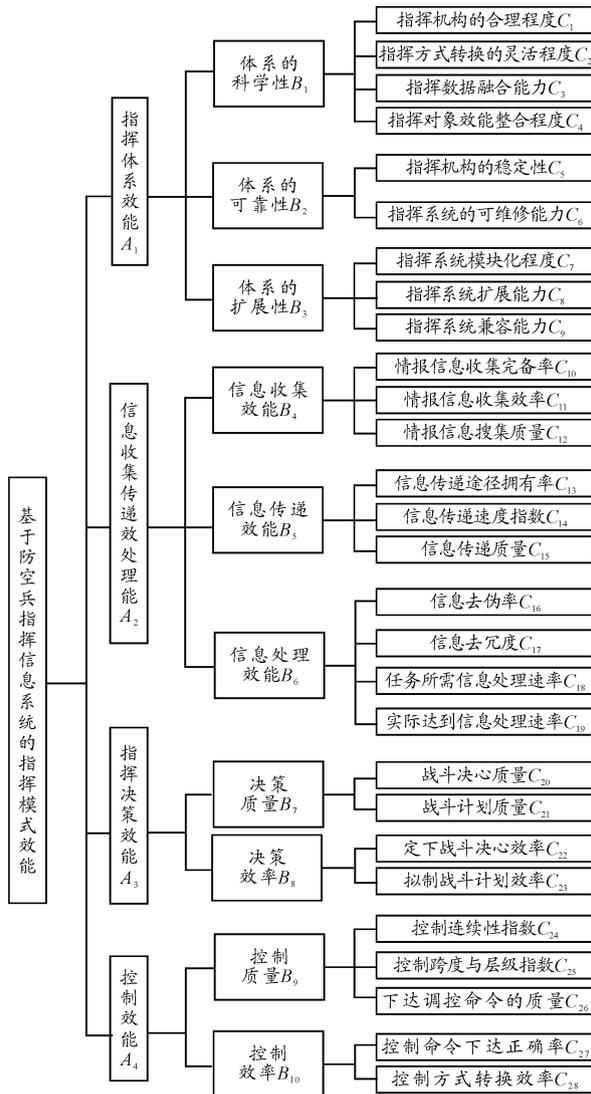


图1 基于防空兵指挥信息系统指挥模式效能评估指标体系

2 评估原理及主要过程

2.1 基于熵权理想解法的基本原理

应用理想解法进行评价必须先计算各指标的权重 W_j 。确定指标权重通常有2类方法^[4-5]:一类是主观方法,如:专

家打分法、层次分析法等;另一类是客观方法,如:熵权分析法、主成分分析法等。指标的权重对被评价对象的最后得分影响很大,要做到评价尽可能客观,宜采用客观计算方法来计算指标的权重。本文用熵权计算法计算权重,设评估作战指挥模式作战效能的指标有 n 个,待评估的系统为 m 个,设第 i 个系统的第 j 个指标取值为 x_{ij} ,则构成一个 m 行 n 列的评价矩阵。 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 。

在对作战指挥模式效能进行评价的指标中,指标是正向指标越大越好,逆向指标越小越好,适度指标处于一个区间或某个值为最佳。综合评估一个系统就必须使各指标间具有可比性,即要对指标进行标准化处理,标准化处理有多种方法,如指数变换法、极差变换法、线性变换法等。本文采用无量纲标准化处理方法,即通过对 $(x_{ij})_{m \times n}$ 进行标准化处理,转化为 $(y_{ij})_{m \times n}$,其中

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (1)$$

设第 j 个评价指标的熵值 e_j

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (2)$$

其中, $f_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}}$, $k = \frac{1}{\ln n}$, $k > 0$, $e_j \geq 0$ 。由于 $0 \leq f_{ij} \leq 1$, 所以

$0 \leq e_j \leq 1$ 。所有指标的总熵为

$$E = \sum_{j=1}^n e_j = -k \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} [\ln y_{ij} - \ln \sum_{i=1}^m y_{ij}] \quad (3)$$

定义指标 j 的偏差度 $d_j = 1 - e_j$, 设指标 j 的熵权为 w_j , 则

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} = \frac{1 - e_j}{n - E} \quad (4)$$

2.2 评估的主要步骤

系统评价矩阵为 $X = (x_{ij})_{m \times n}$, 指标权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, 则其效能评估的主要步骤为^[6]:

步骤1:对评价矩阵作标准化,得标准化矩阵

$$Y = (y_{ij})_{m \times n}$$

步骤2:计算加权标准化矩阵

$$Z = (z_{ij})_{m \times n} = (w_j y_{ij})_{m \times n}$$

步骤3:定评价系统的理想系统和逆理想系统

理想系统:

$$V^+ = \{(\max_{i \in J^+} z_{ij} | j \in J^+), [\min_{i \in J^-} z_{ij} | j \in J^-] | 1 \leq i \leq m\} = \{z_1^+, z_2^+, \dots, z_n^+\}$$

逆理想系统:

$$V^- = \{(\min_{i \in J^+} z_{ij} | j \in J^+), [\max_{i \in J^-} z_{ij} | j \in J^-] | 1 \leq i \leq m\} = \{z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-\}$$

其中: $J^+ = \{\text{正向指标集合}\}$; $J^- = \{\text{逆向指标集合}\}$ 。

步骤4:计算各系统到理想系统和逆理想系统的距离。设系统 i 到理想系统 V^+ 和到逆理想系统 V^- 的距离分别为 D_i^+, D_i^- , 则

$$\begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^+)^2} \\ D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^-)^2} \end{cases} \quad 1 \leq i \leq m$$

步骤 5:计算权优属度。设方案 i 以优属度 u_i^+ 隶属于理想系统,以 u_i^- 隶属于逆理想系统,且 $u_i^+ + u_i^- = 1$ 、 $u_i^+ D_i^+$ 、 $u_i^- D_i^-$ 分别为权优属度距离和权次异度距离。

为了得到 u_i^+ ,采用最小二乘法求解

$$\begin{aligned} \min |F(u_i^+) &= \sum_{i=1}^n [(u_i^+ D_i^+)^2 + (u_i^- D_i^-)^2] \\ \text{s. t. } &\begin{cases} 0 \leq u_i^+, u_i^- \leq 1 \\ u_i^+ + u_i^- = 1 \end{cases} \end{aligned}$$

求解无约束条件极值方法,有

$$\frac{dF(u_i^+)}{du_i^+} = 0$$

$$u_i^+ = \frac{1}{1 + (\frac{D_i^+}{D_i^-})^2} = \frac{(D_i^-)^2}{(D_i^+)^2 + (D_i^-)^2} \quad (6)$$

根据 u_i^+ 大小,就可排出各待评估系统的优劣顺序。

2.3 评估基本过程

为确保评判的精确和科学合理性,采取二轮评判法,请参与研究的专家对待评价系统的指标进行探讨和分析,对照评判依据和原则,首先从三级指标 C_1, C_2, \dots, C_{30} 出发对照评判依据进行第一轮研讨评估,得出评分数据;其次从简化计算需要和确保评估的精确性出发,运用概率统计方法,对照原始数据进行平均化处理,进行第二轮评分,得出从二级指标 B_1, B_2, \dots, B_{12} 的评分数据(平均数据)。其评判过程如图 2 所示。

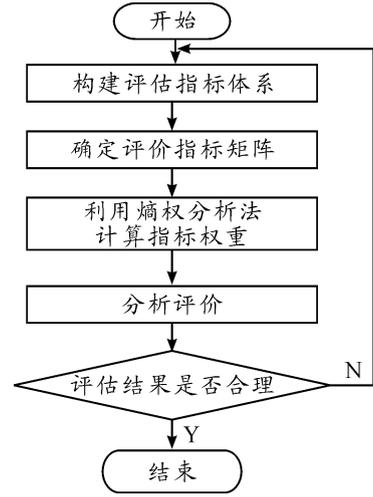


图 2 基于熵权理想解法评判过程示意图

3 评估分析

3.1 专家评判过程

前后的 2 种指挥模式视为 2 个系统,分别以 F_1, F_2 表示传统的防空兵指挥模式和基于防空兵指挥信息系统的指挥模式。以专家对“控制效能”这个指标的评价为例,组织专家分别对照 3 个系统的效能发挥情况进行评判,其中 F_1 的评分结果经统计计算后为(0.80,0.72,0.73,0.95,0.85), F_2 的评分结果为(0.79,0.86,0.84,0.89,0.95),在此基础上进行第二轮评分,对照二级指标进行平均化处理,可得最后结果为, F_1 为(0.750 0,0.900 0), F_2 为(0.830 0,0.920 0)。同理对照建立的指标体系,可得表 1 和表 2 数据结果。

表 1 第一轮系统评分结果

系统	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}
F_1	0.82	0.78	0.84	0.80	0.90	0.86	0.65	0.67	0.69	0.70	0.75	0.65
F_2	0.86	0.90	0.92	0.91	0.76	0.80	0.77	0.80	0.75	0.81	0.82	0.83
系统	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}
F_1	0.84	0.83	0.79	0.78	0.79	0.80	0.83	0.70	0.70	0.91	0.89	0.80
F_2	0.90	0.95	0.91	0.95	0.94	0.90	0.93	0.75	0.84	0.79	0.85	0.79
系统	C_{25}	C_{26}	C_{27}	C_{28}								
F_1	0.72	0.73	0.95	0.85								
F_2	0.86	0.84	0.89	0.95								

表 2 第二轮系统评分结果

系统	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}
F_1	0.810 0	0.880 0	0.670 0	0.700 0	0.820 0	0.800 0	0.700 0	0.900 0	0.750 0	0.900 0
F_2	0.890 0	0.780 0	0.770 0	0.820 0	0.920 0	0.930 0	0.790 0	0.820 0	0.830 0	0.920 0

3.2 对应指标体系确定评价指标矩阵

评分根据能力表现选取,由于能力越大越好,故在计算中都作为正向指标。这些指标构成系统的评价矩阵 $X_{ij}(i=1,2,3, j=1,2,\dots,10)$,由表2可得

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} 0.810 & 0 & 0.880 & 0 & 0.670 & 0 & 0.700 & 0 & 0.820 & 0 & 0.800 & 0 & 0.700 & 0 & 0.900 & 0 & 0.750 & 0 & 0.900 & 0 \\ 0.890 & 0 & 0.780 & 0 & 0.770 & 0 & 0.820 & 0 & 0.920 & 0 & 0.930 & 0 & 0.790 & 0 & 0.820 & 0 & 0.830 & 0 & 0.920 & 0 \end{bmatrix}$$

各指标根据无量纲变化,利用式(1)标准化处理可得标准化矩阵 $Y_{ij}(i=1,2,3, j=1,2,\dots,10)$

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} 0.673 & 1 & 0.748 & 3 & 0.656 & 4 & 0.649 & 3 & 0.665 & 4 & 0.632 & 8 & 0.663 & 2 & 0.739 & 2 & 0.670 & 4 & 0.699 & 3 \\ 0.739 & 6 & 0.663 & 3 & 0.754 & 4 & 0.760 & 6 & 0.746 & 5 & 0.774 & 3 & 0.748 & 5 & 0.673 & 5 & 0.742 & 0 & 0.714 & 8 \end{bmatrix}$$

3.3 利用熵权分析法计算各指标权重

首先进行归一化处理,由式(2)可得

$$F_{ij} = \begin{bmatrix} 0.476 & 5 & 0.530 & 1 & 0.476 & 2 & 0.460 & 5 & 0.471 & 3 & 0.449 & 7 & 0.469 & 8 & 0.523 & 3 & 0.474 & 7 & 0.494 & 5 \\ 0.523 & 5 & 0.469 & 9 & 0.523 & 8 & 0.539 & 5 & 0.528 & 7 & 0.550 & 3 & 0.530 & 2 & 0.476 & 7 & 0.525 & 3 & 0.505 & 5 \end{bmatrix}$$

其次根据计算式(3)、式(4),分别计算熵值 E 和指标权重 W ,如表3所示。

表3 信息熵及权重值

熵值	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9	E_{10}
E	0.998 4	0.997 4	0.996 5	0.995 5	0.997 6	0.995 9	0.997 4	0.998 4	0.998 2	0.999 9
权重	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	W_9	W_{10}
W	0.064 5	0.104 8	0.141 1	0.181 5	0.096 8	0.165 3	0.104 8	0.064 5	0.072 6	0.004 0
排序	8	4	3	1	6	2	4	8	7	10

3.4 具体的分析评价和系统排序

1) 计算加权矩阵 Z

根据前文的计算步骤2和公式 $Z = (z_{ij})_{m \times n} = (w_{ij}y_{ij})_{m \times n}$,可得加权矩阵 Z 为

$$Z_{ij} = \begin{bmatrix} 0.043 & 4 & 0.078 & 4 & 0.092 & 6 & 0.117 & 8 & 0.064 & 4 \\ 0.047 & 7 & 0.069 & 5 & 0.106 & 4 & 0.138 & 0 & 0.072 & 3 \\ 0.107 & 8 & 0.069 & 5 & 0.049 & 0 & 0.048 & 7 & 0.002 & 8 \\ 0.125 & 3 & 0.078 & 4 & 0.041 & 9 & 0.053 & 9 & 0.002 & 9 \end{bmatrix}$$

2) 确定理想系统和逆理想系统 V^+ 、 V^-

结合各项指标是正向指标,效能越大越好原则,由步骤3可得:

$$V^+ = \begin{bmatrix} 0.047 & 7 & 0.078 & 4 & 0.106 & 4 & 0.138 & 0 & 0.072 & 3 \\ 0.125 & 3 & 0.078 & 4 & 0.049 & 0 & 0.053 & 9 & 0.002 & 9 \end{bmatrix}$$

$$V^- = \begin{bmatrix} 0.043 & 4 & 0.069 & 5 & 0.092 & 6 & 0.117 & 8 & 0.064 & 4 \\ 0.107 & 8 & 0.069 & 5 & 0.041 & 9 & 0.048 & 7 & 0.002 & 8 \end{bmatrix}$$

3) 计算各系统到理想系统和逆理想系统的距离(D^+ 、 D^-)及其权优属度 U^+

由 u_i^+ 计算式(5)、式(6)可得与理想目标的相对贴程度及评价结果,如表4所示。

表4 评价结果

系统	D^+	D^-	U^+	排序
F_1	0.033 0	0.011 4	0.106 1	2
F_2	0.011 4	0.033 0	0.893 9	1

4 结果分析

通过对指挥体系效能、信息收集传递效能、信息处理决策效能、指挥控制效能各指标值的深入分析,可以得出以下结论:根据计算所得的权优属度排序 $F_2 > F_1$ 可知,基于防空兵指挥信息系统的指挥模式更加接近于理想方案。根据计算所得的权优属度排序 $F_2 > F_1$,可知基于防空兵指挥信息系统的指挥模式更加接近于理想方案。对比各权重系数,从 W_4 、 W_6 、 W_3 、 W_2 、 W_7 、 W_5 、 W_9 、 W_1 、 W_8 、 W_{10} 的先后排序可以明确有关于信息收集、处理效能和体系的扩展性是整个防空作战指挥模式的优先考虑指标,对应于作战指挥模式的功能效应来说也基本符合实际,这验证了专家的评判依据和考虑指标的科学性,也为下一步如何提高基于防空兵指挥信息系统的防空作战指挥效能的发挥提供理论依据和数据支持。

5 结束语

从上文所得结果分析中可以明确基于防空兵指挥信息系统的作战指挥模式指挥效能的发挥明显强于传统的防空作战指挥模式,因此,要想更好地应对未来的防空作战,积极探索基于防空兵指挥信息系统的防空指挥模式是必要和有意义的,对应的作战指挥模式要进行指挥体系、指挥情报、指挥决策、指挥控制等方面应当进行相应改进,只有如此,才能最大程度的提高防空作战效能的发挥和防空作战任务的完成。

(下转第135页)

4 结束语

从上述视界盲区测定和分析中,我们对该车的视界盲区有了进一步的认识,对改善其视界盲区的性能探索出一些有效措施和途径,并进行了比较分析,从中可以看出,对于特种车辆这种复杂的系统,其视界盲区性能设计是多目标决策,重点在于车身设计和车身各部件的多参数优化匹配,为此应尽快利用已经获得的数字模型和实车试验数据,进行模拟仿真对比研究,建立起比较完整的理论体系和设计方法,提高

我国特种车辆的总体水平。

参考文献:

- [1] 王昊. 汽车视野安全的研究与进展[J]. 江苏理工大学学报:自然科学版,2001,03:46-50.
- [2] 申福林. 人的视觉与汽车的视野设计[J]. 西安公路学院学报,1988,3(1):44-61.

(责任编辑 杨继森)

(上接第 114 页)

4 结束语

本文研究了自主空战决策过程中关键环节的模型,并进一步构造了完整了。并通过 11 种基本自主机动作仿真验证了自主空战决策的有效性。

参考文献:

- [1] James S M. Real-time maneuvering decisions for autonomous air combat[D]. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology,2008.

- [2] Virtanen K, Karelaiti J, Raivio T. Modeling air combat by a moving horizon influence diagram game [J]. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 2006, 29 (5): 1080-1091.
- [3] 刘正敏, 昂亮, 姜长生, 等. 多级影响图在无人机群协同空战机动决策中的应用[J]. 电光与控制, 2010, 17(10): 10-13.
- [4] 肖业伦. 航空航天器运动的建模[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [5] 谢坤峰. 最佳自我决策预测模式于多机对抗仿真之实现[D]. 台南: 国立成功大学, 2005.

(责任编辑 杨继森)

(上接第 118 页)

参考文献:

- [1] 苏英振, 孙杰. 推进空军作战指挥模式机制创新发展[J]. 航空杂志, 2010(11): 16-17.
- [2] 程启月. 基于指挥信息系统的指挥效能评估风险管理[M]. 北京: 国防大学出版社, 2011.
- [3] 张杰. 效能评估方法研究[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.

- [4] 李秉, 王凤山. 基于熵权 TOPSIS 的雷达网探测效能评估[J]. 中国雷达, 2008(2): 16-18.
- [5] 汤其超. 基于 TOPSIS 法的装甲团进攻战斗作战方案优选[J]. 射击学报, 2009(1): 12-15.
- [6] 王金山, 袁诗龙. 基于熵权理想解法的炮兵阵地优选模型[J]. 炮兵学院学报, 2008(4): 88-89.
- [7] 粟琛钧, 王敬华, 杨启科. 关于防空兵精确指挥问题的几点思考[J]. 兵工自动化, 2013(2): 34-36.

(责任编辑 杨继森)