

多型地空导弹网络化作战部署效能评估

张要一, 王颖龙, 陈杰生, 谢磊峰

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

摘要: 首先, 建立了评估指标体系, 运用D-S证据推理理论对专家的评估数据进行处理, 在得到决策矩阵的基础上应用熵技术对预先给定的权重进行修正, 结合决策矩阵计算出了评估结果, 最后, 通过实例验证了模型的可用性。

关键词: 多型地空导弹网络化作战; 部署效能; D-S证据推理理论; 熵技术

中图分类号: TN95 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2005)05-0014-04

多型地空导弹网络化作战, 是指通过以计算机为核心的信息网络系统将多型适合组网作战的地空导弹武器系统的空情侦测系统、通信联络系统、指挥控制系统、武器系统和战斗保障系统分别联结成网, 最终形成一个“无缝隙”的能够互联、互通、互操作的一体化作战体系。

多型地空导弹网络化作战部署涉及到多种型号、不同性能的地空导弹武器系统, 因而是一个复杂的系统工程。其部署效能指的是对多型地空导弹武器系统的情报信息和兵力等资源配置形成一体化作战能力的有效性。部署效能的高低, 直接影响到战场主动权的夺取和整体作战效能的发挥, 因此, 对多型地空导弹网络化作战部署效能进行评估具有十分重要的意义。

1 指标体系

多型地空导弹网络化作战部署要综合考虑空情侦测、通信联络、指挥协同、武器系统火力发扬和战斗保障等多方面因素, 这些因素都是立足于发挥作战效能方面的考虑, 除此之外, 还应考虑一个重要问题, 即部队的生存能力, 如部队的机动能力、伪装防护能力和相互掩护能力等。因此, 本文所建立的评估指标是包含以上诸方面的指标体系。

2 数学模型

2.1 D-S模型

D-S证据推理方法是利用证据理论所得到的不确定性推理方法, 对指标体系中不易量化指标的数据进行处理。专家经验和知识构成其证据, 是观察和研究系统的基础。证据合成法则所具有的证据聚合作用, 为综合多个专家的意见提供了可能。

2.1.1 基本定义

定义1(基本概率赋值) 设 Θ 为辩识框架, 如果集函数 $m:2^\Theta \rightarrow [0,1]$ (2^Θ 为 Θ 的幂集, 是 Θ 所有子集的集合)满足

$$m(\emptyset) = 0, \quad \sum_{A \in \Theta} m(A) = 1$$

收稿日期: 2004-12-02

基金项目: 空军工程大学学术基金资助项目(KGD-XL02-200420)

作者简介: 张要一(1979-), 男, 山东临沂人, 博士生, 主要从事防空作战指挥运筹研究;

王颖龙(1945-), 男, 陕西富平人, 教授, 博士生导师, 主要从事防空作战指挥运筹研究。

则 m 称为框架 Θ 上的基本概率赋值^[1]。

定义2(信度函数) 设 $m:2^\Theta \rightarrow [0,1]$ 是辨识框架 Θ 上的基本概率赋值,定义信度函数

$$\text{Bel}(A) = \sum_{B \subset A} m(B); (\forall A \subset \Theta) \tag{1}$$

定义3(焦元) 若 $A \subseteq \Theta$ 且 $m(A) > 0$,则称 A 为焦元。所有焦元的并称为核^[1]。

定义4(似真度函数) 设辨识框架 Θ ,定义 $pl(A):2^\Theta \rightarrow [0,1], pl(A) = 1 - \text{Bel}(A)$,为 $\text{Bel}(A)$ 的似真度函数。

$$pl(A) = 1 - \text{Bel}(\bar{A}) = \sum_{B \subset \Theta} m(B) - \sum_{B \subset A} m(B) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B) (\forall A \subset \Theta) \tag{2}$$

似真度函数表示不怀疑的程度或者说发现 A 可靠的程度。由此可知, $\text{Bel}(A) \leq pl(A)$ 。

定义5(信度区间) 定义 $[\text{Bel}(A), pl(A)]$ 为焦元 A 的信度区间。

2.1.2 D - S 合成法则

D - S 合成法则即证据合成法则,是为了同时利用来自相互独立的不同信息源的两组以上证据,提高对事件的置信程度而提出的一种多信息体组合法则。

1) 两个信度函数的组合规则^[2]

设 Bel_1 和 Bel_2 是同一辨识框架 Θ 上的两个信度函数, m_1 和 m_2 分别是其对应的基本概率赋值,焦元分别为 A_1, A_2, \dots, A_k 和 B_1, B_2, \dots, B_l , 设 $\sum_{A_i, B_j} m_1(A_i)m_2(B_j) < 1$, 则基本概率赋值函数 $m:2^\Theta \rightarrow [0,1]$ 为

$$m(A) = \begin{cases} \frac{\sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i)m_2(B_j)}{\sum_{A_i \cap B_j \neq \emptyset} m_1(A_i)m_2(B_j)} & \text{当 } A \neq \emptyset \\ 0 & \text{当 } A = \emptyset \end{cases} \tag{3}$$

2) 多个信度函数的组合规则

设 $\text{Bel}_1, \text{Bel}_2, \dots, \text{Bel}_n$ 是同一辨识框架 Θ 上的信度函数, m_1, m_2, \dots, m_n 分别是其对应的基本概率赋值,如果 $\text{Bel}_1 \oplus \text{Bel}_2 \dots \oplus \text{Bel}_n$ 存在,则 n 个信任函数的组合为 $((\text{Bel}_1 \oplus \text{Bel}_2) \oplus \text{Bel}_3 \oplus \dots) \oplus \text{Bel}_n$, 式中 \oplus 表示直和,并且由组合证据获得的最终证据与其次序无关。

2.1.3 评估数据处理模型

若考虑 x 个部署方案, y 个指标,对第 i 个部署方案的第 j 个指标 a_{ij} , 设有 k 位专家进行评估。定义指标的可能性状态为 $S = (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) = (\text{很好}, \text{较好}, \text{一般}, \text{较差}, \text{很差})$, 并赋予相应的数值化向量 $E = (5, 4, 3, 2, 1)$ 。每位专家的评估记为 $m_k(A)$, 其基本概率赋值为

$$m_k(A) = x_1, A = \{S_1\}, m_k(A) = x_2, A = \{S_2\}, \dots, \sum m_k(A) = 1$$

计算专家评判中的冲突值

$$\mu = \sum_{\substack{A_1, A_2, \dots, A_N \subset S \\ A_1 \cap A_2 \dots \cap A_N = \emptyset}} m_1(A_1)m_2(A_2) \dots m_k(A_N) \tag{4}$$

$\mu = 1$ 时表示完全冲突,意见对立,此时无法用 D - S 法则进行合成。在专家评判开始前,设定常数 $\varepsilon (0 < \varepsilon < 1)$ 是允许的意见分歧程度。当冲突量大于 ε 时,认为评判是无效的。一般情况下,如果冲突量小于 ε ,则可利用证据合成法则进行评判数据合成。合成结果为

$$m(A) = \frac{\sum_{\substack{A_1, A_2, \dots, A_N = S \\ A_1 \cap A_2 \dots \cap A_N = \emptyset}} m_1(A_1)m_2(A_2) \dots m_k(A_N)}{1 - \mu} \tag{5}$$

根据式(1)和(2),可计算状态 S_i 的信度区间 $[\text{Bel}(S_i), pl(S_i)]$, 即

$$\text{Bel}(S_i) = m(S_i), \quad pl(S_i) = \sum_{S \subset B} m(B)$$

则有 $\text{Bel}_s(S_i) = \text{Bel}(S_i) + [pl(S_i) - \text{Bel}(S_i)] \{1 - [pl(S_i) - \text{Bel}(S_i)]\}$ (6)

式中, $\text{Bel}_s(S_i)$ 称为状态 S_i 的可靠信度, 等号后第二项表明: 区间越窄, 其可靠信度越高; 区间越宽, 其可靠信度越低。由此得指标处理后的评估数值为

$$a_{ij} = [\text{Bel}_s(S_1), \text{Bel}_s(S_2), \dots, \text{Bel}_s(S_5)] E^T \tag{7}$$

2.2 权重模型

熵技术是利用决策矩阵和各指标的输出熵来确定权系数的一种方法,它可以修正决策者先前确定的权重(如用 AHP 法确定的权重)^[4]。由上述 D-S 模型所确定的决策矩阵 D 记为

$$D = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1y} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{x1} & \cdots & a_{xy} \end{pmatrix} \quad (8)$$

式中, a_{ij} 为第 i 方案第 j 指标评估数据($i = 1, 2, \dots, x; j = 1, 2, \dots, y$)。

利用熵技术修正权系数的步骤如下:

1) 求标准化决策矩阵 $R = (r_{ij})_{x \times y}$ 并进行归一化得矩阵 $P = (P_{ij})_{x \times y}$, 其中 r_{ij} 是由 a_{ij} 线性比例变换得出的, 而 P_{ij} 是由 r_{ij} 归一化得到的。对于收益性指标, 可以作如下定义:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq x} a_{ij}}; P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^x r_{ij}} \quad I = 1, 2, \dots, x; j = 1, 2, \dots, y \quad (9)$$

$$2) \text{ 求第 } j \text{ 指标输出的熵 } E_j = -K \sum_{i=1}^x P_{ij} \ln P_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, y; K = (\ln x)^{-1} \quad (10)$$

$$3) \text{ 求偏差度 } d_j = 1 - E_j \quad j = 1, 2, \dots, y \quad (11)$$

$$4) \text{ 求各目标权系数 } w_j, \text{ 当决策者没有明显偏好时的权系数为 } w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^y d_j} \quad j = 1, 2, \dots, y \quad (12)$$

5) 求修正权系数 λ'_j 。假设决策者对指标 f_j 有偏好的权系数 λ_j , 则可利用 w_j 进一步修正权重 λ_j , 得

$$\lambda'_j = \frac{\lambda_j w_j}{\sum_{j=1}^y \lambda_j w_j} \quad j = 1, 2, \dots, y \quad (13)$$

2.3 计算结果

由以上步骤得出 x 个方案评估结果为

$$F = D\lambda'^T \quad (14)$$

对评估结果 F 的 x 个分量进行排序分析, 即可得最优方案。

3 实例

对某一要地防空, 有多种型号的地空导弹武器系统组网, 实施网络化作战。现有 4 种部署方案, 每种方案考虑 6 个指标, 并且均为收益性指标, 每个指标设定有 5 个评估等级。设有 3 位专家对方案进行评估。对方案 1 的第 1 个指标, 3 位专家的评估矩阵见表 1。

一般设 $\varepsilon = 0.7$, 根据式(4)计算其冲突值为 $\mu = 0.41$, 则有 $\mu < \varepsilon$, 因此, 可以认为此次评估证据有效。根据式(5)进行合成得 $m(S_1) = m(S_4) = m(S_5) = 0$, $m(S_2) = 0.96$, $m(S_3) = 0.04$ 。因此, $\text{Bel}(S_2) = 0.96$, $\text{pl}(S_2) = 0.96$, $\text{Bel}(S_3) = 0.04$, $\text{pl}(S_3) = 0.04$, 由式(6)得状态 S_1 到 S_5 的可靠信度分别为 $\text{Bel}_s(S_i) = (0, 0.96, 0.04, 0, 0)$ 由此得到此指标的评估数值为 $a_{11} = \text{Bel}_s(S_i) \cdot E^T = 3.96$ 。

表 1 专家评估数据

状态 S	专家		
	1	2	3
S_1	0	0	0
S_2	0.7	0.8	0.6
S_3	0.3	0.1	0.4
S_4	0	0.1	0
S_5	0	0	0

同理, 可以计算方案 1 其它指标的评估数值, 以及方案 2 和 3 各指标的评估数值, 所得决策矩阵 D 为

$$D = \begin{pmatrix} 3.96 & 2.75 & 4.7 & 3.98 & 3.51 & 4.95 \\ 4.94 & 4.9 & 4.25 & 3.35 & 2.1 & 2.27 \\ 3.55 & 3.63 & 4.95 & 4.85 & 4.88 & 3.86 \\ 4.35 & 3.28 & 4.7 & 4.36 & 3.46 & 2.77 \end{pmatrix}$$

设预先给定的指标权系数为 $W = (0.2, 0.15, 0.2, 0.25, 0.1, 0.1)$, 由式(9) ~ (13)可得出修正后的权系数为 $\lambda' = (0.0994, 0.2362, 0.0204, 0.1588, 0.2735, 0.2118)$ 。因此,由式(14)可计算评估结果为

$$F = D\lambda'^T = [3.78, 3.43, 4.23, 3.53]^T$$

由此可得,方案3为最优方案。

4 结束语

多型地空导弹网络化作战部署效能评估需要综合考虑技术和战术等多方面的因素,充满了不确定性和不可预知性,主要表现为数据匮乏、信息不清晰、主观经验判断等。对评估指标体系的构建也不易进行细化,因为涉及到很广泛的专业知识,并包含很多的不确定性因素。在这种情况下,采用D-S证据推理理论,可以实现证据的积累以达到缩小假设集合的目的,并且它在区分不确定与不知及精确反映证据收集过程等方面也具有很大的灵活性^[3]。熵技术修正了预先确定的权重,使专家的评估数据得到了充分利用,从而使结论更为合理。

参考文献:

- [1] 段新生. 证据理论与决策、人工智能[M]. 北京:中国人民大学出版社,1993.
- [2] 孙红岩,张 钺. 目标的 Dempster - Shafer 融合识别[J]. 清华大学学报,1999,39(9):90 - 94.
- [3] SMETS P. The combination of evidence in the transferable belief model[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intelligence,1990,12(5):447 - 458.
- [4] 林齐宁. 决策分析[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2003.
- [5] 花文健,刘 宁,刘作良. 基于模糊数排序的武器系统效能评估方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(5):28 - 31.
- [6] 薛银地. 区域防空中地面防空兵部署优化研究[D]. 陕西三原:空军导弹学院,1998.

(编辑:田新华)

Evaluation on the Multi -type Ground- to- Air Missile Network Fighting

Deployment Effectiveness

ZHANG Yao - yi, WANG Ying - long, CHEN Jie - sheng, XIE Lei - feng

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: This paper puts forward a new method of evaluating the multi - type missiles network fighting deployment effectiveness. First, an evaluation index system is established, then D - S evidential combination algorithm is applied to dealing with the evaluating data from many experts. Based on the achieved decision - making matrix, entropy technique is applied to modifying right index given beforehand, and then combined with decision - making matrix the evaluation result is obtained. Finally an example is given to prove the usability of the model.

Key words: multi - type missiles network fighting; deployment effectiveness; D - S evidential combination algorithm; entropy technique