

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.04.021

基于熵权—集对分析方法的布雷方案优选

冯威, 王平, 张立

(海军工程大学 管理工程系, 湖北 武汉 430033)

摘要: 为在执行布雷作战任务前选好最优布雷作战方案, 对各个指标权重进行确定。首先根据集对分析和信息熵权的决策方法构建布雷方案的评价模型, 然后采用该方法计算熵权来确定评价指标权重, 形成待评估方案的优选矩阵。最后通过比较同一度大小, 对备选方案进行排序, 选取最优的布雷作战方案。该方法能降低权重计算的人为因素影响, 具有较强的实用性。

关键词: 布雷方案; 集对分析; 熵; 权重

中图分类号: O236 **文献标识码:** A

Method of Preferring for Mine Laying Plans Based on Entropy Weight-Set Pair Analysis

FENG Wei, WANG Ping, ZHANG Li

(Dept. of Management Engineering, Navy University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: In order to choose the optimal mine laying operation plan and judge the weight of each index before performing mine laying operational task. First, based on set pair analysis and information entropy weight, the evaluation model of the mine laying plans is made. Then, the method gains the weights of evaluation indexes by calculating the entropy in order to form the optimization matrix. Finally, the optimal mine laying operational plan is chosen after the plan candidates being ranked by comparing the degrees of identities. It is a practical method and it could reduce human factors in the weight calculating.

Keywords: Mine laying plans; Set pair analysis; Entropy; Weight

0 引言

布雷作战方案的优劣直接关系到布雷作战效果的好坏, 因此, 在执行布雷作战任务前必须选好最优的布雷作战方案。布雷作战方案的评价与优选是一类多指标决策问题, 涉及到的因素有定量的指标和非量化指标, 需要对各个指标权重进行确定。故采用熵权法确定指标权重, 应用于方案的评估优选中, 用集对分析方法构建布雷作战方案的优选模型, 使优选结果比较客观合理。

1 集对分析方法^[1-3]

1.1 集对的概念

集对分析 (Set Pair Analysis) 是关于确定不确定系统同、异、反定量分析的系统分析方法。所谓集对, 是指具有一定联系的 2 个集合所组成的对子。从系统的角度看, 集对既可以是系统内任意两部分要素组成的对子, 也可以是系统与环境组成的对子。

1.2 联系度的概念

设集对 H 由集合 A 和集合 B 组成, 即 $H = (A,$

B), 在某个具体问题背景下, 对集对 H 的特性进行分析, 设该集对有 M 个特性, 其中 S 个特性为集对中 A、B 所共有, P 个特性为 2 个集合相对立, 其余 $F = M - S - P$ 个特性为 2 个集合既不同一又不对立。在不考虑各特性权重的情况下, 则称:

S/M 为集合 A 与集合 B 在问题 W 下的同一度, 简记为 a;

F/M 为集合 A 与集合 B 在问题 W 下的差异度或差异不确定度, 简记为 b;

P/M 为集合 A 与集合 B 在问题 W 下的对立度, 简记为 c;

同一度、差异度、对立度三者互相联系、互相影响、互相制约, 从不同侧面刻画了 2 个集合的联系状况, 在一定条件下可相互转化。因此, 建立在指定问题背景下的联系度表达式为:

$$\mu = \frac{S}{M} + \frac{F}{M}i + \frac{P}{M}j = a + bi + cj$$

这里的 i、j 分别为差异度和对立度标识。

2 方案优选模型的建立

收稿日期: 2009-10-13; 修回日期: 2009-12-18

作者简介: 冯威 (1983-), 男, 湖北人, 在读海军工程大学硕士, 从事海战模拟与指挥自动化研究。

2.1 优选矩阵的构造

设有 (P_1, P_2, \dots, P_n) 等 n 个布雷作战方案, 每个方案有 (E_1, E_2, \dots, E_m) 等 m 个评价指标, 每个指标值记为 $h_{ij}(i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m)$, 则基于集对分析的布雷作战方案评价的优选矩阵 H 为:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{m1} & h_{m2} & \dots & h_{mn} \end{bmatrix}$$

理想方案 $P_0=(h_{01} \dots h_{0j} \dots h_{0m})$, 其中 h_{0j} 为 P_0 方案第 j 个指标的值, 大小为 H 矩阵中第 j 个指标中的最优值。比较优选矩阵的指标值 h_{ij} 和理想方案 P_0 中对应的指标值 h_{0j} , 即可形成评价方案与理想方案指标不带权重的同一度矩阵 Q :

$$Q = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

元素 a_{ij} 为评价指标值与 P_0 中对应指标值 h_{0j} 的同一度, 在评估优选中, 只讨论待评方案各指标接近程度和同一度, 不讨论差异度与对立度。

指标的类型一般可以分为效益型、成本型、固定型、偏离型、区间型、偏离区间型等。布雷作战方案评价, 其指标只有 2 种类型, 即效益型指标和成本型指标。所谓效益型指标是指评价价值越大越好的指标, 成本型指标是指评价指标越小越好的指标。依指标类型采用下式: 效益型: $q_{ij} = h_{ij} / h_{0j}$; 成本型 $q_{ij} = h_{0j} / h_{ij}$ 。

2.2 熵权系数法确定评价指标的权重^[4-5]

熵权系数法是根据熵的概念和性质, 把多目标决策评价各待选方案的固有信息和决策者的经验判断的主观信息量化和综合, 建立基于熵的多目标决策评价模型, 为多目标决策提供依据。其步骤如下:

1) 设有 n 个待评价的样本, 每个样本有 m 个评价指标, 则根据原始数据构造评价指标矩阵为:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

2) 对原始数据进行归一化处理, 形成归一化的评价指标矩阵。

规范化决策矩阵: $y_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$ 。将规范化的

决策矩阵进行归一化处理: $r_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^n y_{ij}$ 。

3) 计算第 j 个评价指标的熵:

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln r_{ij}$$

4) 计算第 j 个指标的权重:

$$w_j = (1 - E_j) / (m - \sum_{j=1}^m E_j)$$

2.3 综合评价模型

确定待评价方案 P_i 与理想方案 P_0 带权同一度矩阵 $R: R = QW^T$, R 中的元素 $a_i(i=1,2,\dots,m)$ 为第 i 个待评价方案与理想方案的同一度之和为:

$$a_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (i=1,2,\dots,m)$$

比较同一度矩阵中 a_i 的大小, 可得出各待评价方案的优劣次序, 选出最优方案。

3 实例分析

设共有 4 个不同的布雷作战方案为 (P_1, P_2, P_3, P_4) , 分别对应不同的雷型, 以同雷区为标准, 经分析选取关系密切的评价指标: E1 为毁伤概率, 毁伤概率越大表明目标进入雷区后被毁伤的可能性越大; E2 为水雷数量, 水雷数量越大, 水雷障碍中的水雷密度越大, 相应目标与水雷遭遇的概率越大; E3 为水雷障碍生命力, 生命力越长, 表示障碍的持续作用时间越大, 对敌方的危险也越大; E4 为完成布雷的任务时间, 指从接到命令开始直到完成布雷作战任务为止的全过程时间, 任务时间越小, 布雷平台的安全性越好, 布雷区域被敌发现的概率越小。

表 1 各方案指标原始数据

方案	指标			
	E1	E2	E3	E4
P1	0.90	140	50	40
P2	0.95	170	80	50
P3	0.85	90	70	35
P4	0.80	70	110	30

根据原始数据构造评价指标矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} 0.90 & 140 & 50 & 40 \\ 0.95 & 170 & 80 & 50 \\ 0.85 & 90 & 70 & 35 \\ 0.80 & 70 & 110 & 30 \end{bmatrix}$$

进行无量纲标准化处理后为:

$$Y = \begin{pmatrix} 0.4619 & 0.5645 & 0.3107 & 0.5070 \\ 0.5147 & 0.6855 & 0.4971 & 0.6337 \\ 0.4120 & 0.3629 & 0.4349 & 0.4436 \\ 0.3650 & 0.2823 & 0.6835 & 0.3802 \end{pmatrix}$$

将其归一化处理, 得到归一化矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} 0.2634 & 0.2979 & 0.1613 & 0.2581 \\ 0.2935 & 0.3617 & 0.2581 & 0.3226 \\ 0.2349 & 0.1915 & 0.2258 & 0.2258 \\ 0.2082 & 0.1489 & 0.3548 & 0.1935 \end{pmatrix}$$

计算出各信息熵值为:

$$E = (0.9578 \quad 0.9234 \quad 0.9363 \quad 0.9507)$$

计算出各指标的权重为:

$$W = (0.1820 \quad 0.3305 \quad 0.2748 \quad 0.2127)^T$$

对 4 种方案进行评估可得理想方案为:

$$P_0 = [0.95 \quad 170 \quad 110 \quad 30]^T$$

在各指标中, 毁伤概率、水雷数量和水雷障碍生命力越大越好, 完成布雷任务的时间是越短越好, 根据效益和成本型公式, 形成各方案与理想方案的同一度矩阵:

$$Q = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

(上接第 65 页)

故要计算 $\lambda(x)$, 只需要计算 x 的子变量的 λ 值及其子变量的条件概率。向量 $\lambda(x)$ 可由下式计算:

$$\lambda(x) = \prod_{y_i} \sum_{y_i} \lambda(y_i) \cdot P(e_{y_i}^- | x) \quad (7)$$

类似地, 计算 $\pi(x)$ 的值, 仅需计算 x 父节点变量的 π 值及其条件概率, 而且要计算 π 值, 需要首先计算其父节点变量 π 值。

贝叶斯网络具有在给定的信息下进行推理的能力。即当贝叶斯网络中特定变量状态的详细信息可用时, 它提供了一种更新网络中任何相关结点的能力。这使得用户能将获得的信息输入网络, 并且在网络中查寻任何相关结点的后验概率。因此, 通过收集到的战场上的毁伤信息如武器系统的视频录像等, 与预先毁伤评估相结合, 用户可以得到网络中任何变量的后验概率分布。

3 结论

通过以上分析表明, 贝叶斯网络模型在毁伤评

$$\begin{bmatrix} 0.9474 & 0.8235 & 0.4545 & 0.7500 \\ 1.0000 & 1.0000 & 0.7273 & 0.6000 \\ 0.8947 & 0.5294 & 0.6364 & 0.8571 \\ 0.8421 & 0.4118 & 1.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

又 $W = (0.1820 \quad 0.3305 \quad 0.2748 \quad 0.2127)^T$ 由

$$R = QW^T \text{ 可得 } R = [0.7290 \quad 0.8400 \quad 0.6950 \quad 0.7769]$$

根据各评价方案与理想方案的同一度大小可得 4 个备选方案的优劣顺序为: $P2 > P4 > P1 > P3$ 。

4 结束语

采用熵权理论确定指标权重, 降低了权重计算的人为因素影响, 增加了决策的科学性, 运用集对分析方法进行布雷作战方案优选, 方法简单、结果直观, 具有较强的实用性。

参考文献:

- [1] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000.
- [2] 袁山增, 等. 基于 SPA - AHP 的防空作战方案决策模型[J]. 兵工自动化, 2007, 26(8): 17-19.
- [3] 葛杰, 等. 防空兵群机动部署方案的优选方法[J]. 兵工自动化, 2007, 26(8): 15-16.
- [4] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1997.
- [5] 滕兆新, 等. 基于熵权的布雷作战方案优选[J]. 火力与指挥控制 2008, 33(7): 143-152.

估中, 一方面可利用现有系统不能使用的战场信息更新网络, 提高评估的准确性; 另一方面, 它可根据预先毁伤评估及战场上最快收集到的毁伤信息毁伤评估, 在战场上争取了时间, 提高了毁伤评估的时效性。作为新兴的决策分析工具用于毁伤评估领域, 贝叶斯网络必将推进毁伤评估的更快广泛应用。

参考文献:

- [1] 郑津生. 联合战役陆军火力毁伤理论[M]. 北京: 军事科学出版社, 2005.
- [2] 刘现华, 张文. 对我军火力毁伤评估问题的若干思考[J]. 军事学术, 2004(4): 35-38.
- [3] 彭征明, 李云芝, 罗小明, 等. 基于贝叶斯网的作战效能评估方法研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2007(2): 105-109.
- [4] 陈健, 孙冀辉, 米双山. 基于贝叶斯网络的装备部件战斗损伤研究[J]. 航空兵器, 2005(4): 6-9.
- [5] 王润生, 贾希胜, 王卫国, 等. 基于贝叶斯网络的损伤定位研究[J]. 兵工学报, 2006(4): 726-730.
- [6] Daniel W.Franzen. A Bayesian Decision Model For Battle Damage Assessment[D]. US: US Air University, 1999.