

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.05.010

舰载导弹配送路径决策模糊熵物元模型

单鑫¹, 张福光¹, 刘士新², 王新政¹

(1. 海军航空工程学院科研部, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 91980 部队, 山东 烟台 264001)

摘要: 为确定舰载导弹配送路径的最佳方案, 构建一种舰载导弹配送路径的综合物元决策模型。将模糊数学、物元分析、熵及灰色关联度等理论有机结合, 在考虑影响目标决策的多种因素的基础上得到备选路径决策方案的模糊关联熵物元, 并进行实例分析。分析结果证明: 该物元模型清晰简洁, 能为指挥决策者提供一种快速有效的辅助决策手段。

关键词: 模糊数; 关联度; 物元; 熵; 配送路径

中图分类号: TJ760 **文献标志码:** A

Fuzzy Entropy Matter Element Model for Warship Missile Distribution Path Decision-Making

Shan Xin¹, Zhang Fuguang¹, Liu Shixin², Wang Xinzheng¹

(1. Dept. of Scientific & Research, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. No. 91980 Unit of PLA, Yantai 264001, China)

Abstract: In order to determine the optimum scheme of warship missile distribution path, a comprehensive matter element decision-making model was built. Combine the theory of fuzzy mathematics, matter element analysis, entropy and grey relation degree, based on consideration of multi-factors which influence object decision-making, fuzzy relation entropy matter-element of alternative path decision-making scheme was obtained, and an example was analyzed. The analysis result shows that this matter element model clear and brief, it can provide a fast and effective assistant decision-making means for commanding decision-maker.

Key words: fuzzy numbers; relation degree; matter element; entropy; distribution path

0 引言

通常情况下, 指挥员要优先考虑如何在规定的时间内将舰载导弹配送至需求点, 但满足时间条件的路径往往并不是唯一的, 这就要综合考虑配送路径的时间性、安全性及配送代价等影响目标决策的因素, 从预先搜索的备选决策路径集中选出最适合配送的方案。笔者尝试在物元分析理论的基础上, 引入模糊数理论, 将定性影响因素进行模糊化与量化, 并将关联度与信息熵相结合来确定物元影响因素的客观权重, 构建舰载导弹配送路径的综合物元决策模型, 以期对配送路径方案优选提供一种更为科学合理的方法。

1 基于模糊数学与关联熵的物元决策模型

1.1 有关概念^[1-3]

1) 物元。用有序三元组“事物、特征、模糊量值”来描述事物的基本元称为物元。若给定基本元的三要素, 则可用 $R=(N, C, V)$ 表示一个基本物元。

2) 模糊熵物元。若物元中的事物为方案, 特征为信息熵, 量值具有不确定性或模糊性, 则称为模

糊熵物元。

3) 复合模糊熵物元。若模糊熵物元中有 m 个方案, 则称为 m 个方案的复合模糊熵物元, 记为 R_{mH} 。

1.2 舰载导弹配送路径方案的复合模糊熵物元

假设通过路径搜索得到的决策路径集中有 m 个备选方案, 用 n 个模糊目标影响因素及其量值进行描述, 则舰载导弹配送路径方案的复合模糊熵物元可表示为 R_{mn} , 即

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_m \\ C_1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{m1} \\ C_2 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & x_{1n} & x_{2n} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: M_i 为第 i 个备选路径决策方案; C_j 为第 j 个目标影响因素, 相应量值用 x_{ij} 表示。

1.3 复合模糊熵物元的标准化

对定量的对目标的影响因素, 可直接进行标准化处理, 而对定性的目标影响因素, 则先要对得到的定性模糊目标影响因素集作相应的表示与转换。

收稿日期: 2012-01-13; 修回日期: 2012-02-01

作者简介: 单鑫(1981—), 男, 山东人, 博士, 从事海军航空、导弹装备管理研究。

1.3.1 定性模糊目标影响因素集 的表示与转换^[4]

笔者用语言变量和模糊数相结合的方法对备选方案难以量化的定性影响因素进行评价。梯形模糊数 $\tilde{A}=(a,b,c,d)$ 能明确地表示人们对客观事物的评价, 其隶属函数 $f_{\tilde{A}}(u)$ 如图 1, 在区间 $[a,b]$ 上为线性增函数, 表示悲观的估计; 在区间 $[b,c]$ 上隶属度为 1, 表示最可能的估计; 在区间 $[c,d]$ 上为线性减函数, 表示乐观的估计; 在其它区域隶属度为零。

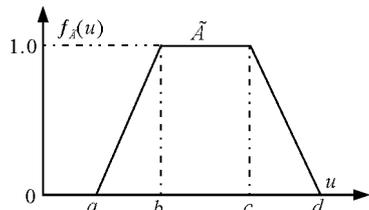


图 1 梯形分布函数

这样表示人们的意见符合人的认识, 为此, 笔者假设对目标影响因素的评价性语言变量为梯形模糊数, 语言变量词集为 $E=\{\text{很小, 小, 较小, 中, 较大, 大, 很大}\}=\{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7\}$, 语言变量取值与梯形模糊数的转换关系如表 1 所示。

表 1 语言变量与梯形模糊数的转换关系

语言变量	模糊数	语言变量	模糊数
I_1	0,0,0,0.25	I_5	0.5,0.65,0.75,0.8
I_2	0.2,0.3,0.3,0.4	I_6	0.7,0.8,0.8,1
I_3	0.25,0.35,0.45,0.6	I_7	0.7,1,1,1
I_4	0.3,0.5,0.5,0.7		

另外, 由于笔者建立的模型要求问题中的各目标影响因素都被定量描述, 而待评方案 M_i 定性因素 C_j 的模糊评价值 x_{ij} 是一个模糊数。通过解模糊可以将一个模糊数转换为精确量, 得到的精确量被称为解模糊量, 其本质上是 将模糊数映射为一个实数, 笔者采用 Yager 方法实行解模糊。

$$F(\tilde{A}) = \frac{\int x\mu_{\tilde{A}}(x)dx}{\int \mu_{\tilde{A}}(x)dx} \quad (2)$$

假设 \tilde{A} 是一个梯形模糊数, $\tilde{A}=(a,b,c,d)$, 则可以 得到:

$$F(\tilde{A}) = \frac{1}{3} \left[a+b+c+d + \frac{ab-cd}{c+d-a-b} \right] \quad (3)$$

1.3.2 影响因素的标准化

不同的目标影响因素因其含义不同而造成量纲存在差异, 因此需要进行标准化。

对于效益型指标, 令

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq n} x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq n} x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq n} x_{ij}} \quad (4)$$

对于成本型指标, 令

$$r_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq n} x_{ij} - x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq n} x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq n} x_{ij}} \quad (5)$$

经过标准化后的舰载导弹配送路径方案的复合模糊熵物元为:

$$R'_{mn} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_m \\ C_1 & r_{11} & r_{21} & \cdots & r_{m1} \\ C_2 & r_{12} & r_{22} & \cdots & r_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_n & r_{1n} & r_{2n} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

1.4 权重复合模糊熵物元的构建

为了克服人为判断的主观性及人们思维的模糊性, 笔者采用关联熵方法确定目标影响因素的权重值以保证决策的客观性。定义一参考数列 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, 其中

$$y_j = \max_{1 \leq i \leq m} r_{ij} \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (7)$$

令 $\Delta_{\min} = \min_i \min_j |r_{ij} - y_j|$, $\Delta_{\max} = \max_i \max_j |r_{ij} - y_j|$, $\Delta_{ij} = |r_{ij} - y_j|$, 假设分辨系数为 ρ , 则可定义复合模糊熵物元 R'_{mn} 的目标影响因素 C_j 的关联度^[5]为:

$$\xi_{ij} = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \rho \Delta_{\max}} \quad (8)$$

式中分辨系数 ρ 一般取值 0.5, 但是 ρ 作为最大值的系数, 应充分体现系统各因子对关联度的间接影响, 同时其应具有抗干扰作用以减弱异常值对整个关联空间的误差影响。因此笔者采用下面方法确定分辨系数 ρ 。

记 Δ_T 为所有差值绝对值的均值, 即

$$\Delta_T = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |r_{ij} - y_j| \quad (9)$$

同时记 $\lambda = \Delta_T / \Delta_{\max}$, 则 ρ 的取值范围为:

$\lambda \leq \rho \leq 2$, 且应满足:

$$\Delta_{\max} > 3\Delta_T \text{ 时, } \lambda \leq \rho \leq 1.5\lambda \quad (10)$$

$$\Delta_{\max} \leq 3\Delta_T \text{ 时, } 1.5\lambda \leq \rho \leq 2\lambda \quad (11)$$

参照统计热力学模糊熵函及信息熵^[6], 可定义复合模糊熵物元 R'_{mn} 的目标影响因素 C_j 的熵为:

$$E_j = -(\ln n)^{-1} \sum_{i=1}^m e_{ij} \ln(e_{ij}) \quad (12)$$

式中: $e_{ij} = \xi_{ij} / \sum_{i=1}^m \xi_{ij}$ 。

定义偏差 $\sigma_j = 1 - E_j \in [0, 1]$ ，则复合模糊熵物元 R'_{mn} 的目标影响因素 C_j 的权重值为：

$$w_j = \sigma_j / \sum_{j=1}^n \sigma_j \quad (13)$$

根据上面得到的权重值，构建舰载导弹配送路径方案的权重复合模糊熵物元为：

$$R_{w_j} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ w_j & w_1 & w_2 & \dots & w_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

由式 (6)、(14) 得到有 m 个备选路径决策方案的模糊关联熵物元 R_{mH} ，

$$R_{mH} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ H_1 & H_1 & H_2 & \dots & H_m \\ \left[H_i - \sum_{j=1}^n D(w_j r_{ij}) \ln D(w_j r_{ij}) \right] & \dots & \left[H_i - \sum_{j=1}^n D(w_j r_{mj}) \ln D(w_j r_{mj}) \right] \end{bmatrix} \quad (15)$$

式中：
$$D(w_j r_{ij}) = \frac{w_j r_{ij}}{\sum_{j=1}^n (w_j r_{ij})}$$

依据上述模型 (15) 可得到路径方案决策集中每个方案的评价值，由物元及信息熵的理论分析可知， H_i 越大则代表该方案越优，这样就可从路径方案决策集选出最优方案来完成舰载导弹配送目标。

2 实例分析

举一简单示例进行说明，假设从某阵地对某舰进行舰载导弹的配送任务，要求任务完成时间在 15 h 之内完成，根据最短路径搜索可知共有 6 条路径可以满足任务时间限制，即决策目标方案集 $M = \{M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6\}$ ，经过分析，影响目标方案选择决策的因素有时间差因素、危险性因素和配送代价因素，即影响因素集 $C = \{C_1, C_2, C_3\}$ ，且都为定性判断的，应用物元模型对方案进行评价，表 2 为对方案的评价语言值。

表 2 决策方案模糊评价语言值

因素	方案					
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
时间差	小	小	较小	中	较大	大
危险性	较大	中	较小	较小	较小	较小
配送代价	中	中	较小	较小	大	大

根据表 2 及式 (3)，对评价因素评语进行解模糊的结果见表 3。

表 3 模糊评价语言值的解模糊

因素	方案					
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
时间差	0.083	0.3	0.415	0.500	0.67	0.830
危险性	0.670	0.5	0.415	0.415	0.415	0.415
配送代价	0.500	0.5	0.415	0.415	0.900	0.830

所有因素均为成本型，根据式 (5) 进行标准化后，构建舰载导弹配送路径决策方案的复合模糊熵物元 R'_{mn} 为：

$$R'_{mn} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ C_1 & 1.0 & 0.71 & 0.56 & 0.44 & 0.21 & 0 \\ C_2 & 0 & 0.67 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ C_3 & 0.82 & 0.82 & 1.0 & 1.0 & 0 & 0.14 \end{bmatrix}$$

基于复合模糊熵物元 R'_{mn} ，按照式 (9)~(11) 计算得 $\Delta_{\min} = 0$ ， $\Delta_{\max} = 1.0$ ， $\Delta_{\tau} = 0.37$ ， $0.55 \leq \rho \leq 0.74$ ，本文取 $\rho = 0.6$ ，根据式 (12)、(13) 计算得到权重复合模糊熵物元 R_{w_j}

$$R_{w_j} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_n \\ w_j & 0.325 & 0.335 & 0.340 \end{bmatrix}$$

则由式 (15) 得到

$$R_{mH} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ H_i & 0.6913 & 1.094 & 1.063 & 1.035 & 0.4547 & 0.3756 \end{bmatrix}$$

因此在舰载导弹配送备选路径集里各方案的优先排序关系为： $M_2 \succ M_3 \succ M_4 \succ M_1 \succ M_5 \succ M_6$ 。

3 结束语

笔者利用模糊数、物元、信息熵、关联度，构建了舰载导弹配送路径方案优选模型，为指挥决策者提供了快速有效的辅助决策手段，也为研究多目标方案决策提供了新的思路。实例结果表明：该物元模型清晰简洁，可应用到其它保障指挥决策领域。

参考文献：

- [1] 徐卫红, 于福亮, 龙爱华. 基于熵权的模糊物元模型在水资源可持续利用评价中的应用[J]. 中国人口资源与环境, 2010, 20(5): 157-160.
- [2] 丁国勤, 孟卫东. 基于模糊信息熵物元的军队油库投资改造决策研究[J]. 工业工程, 2006, 9(2): 107-110.
- [3] 胡启洲, 陆化普, 蔚欣欣, 等. 基于关联熵与复合物元的公交系统综合测度模型[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 31(1): 186-192.
- [4] 单鑫, 董文洪, 李勇. 导弹攻击系统综合评估的改进灰色关联投影法[J]. 上海航天, 2007, 24(5): 47-50.
- [5] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [6] 邵杰, 曹延平, 张兆生. 基于信息熵的模糊多属性决策方法在装甲团作战方案优选中的应用[J]. 兵工自动化, 2010, 29(6): 47-48.