

基于灰色区间关联决策的目标威胁评估

骆文辉, 刘少伟, 杨建军
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:如何对空袭目标的威胁程度进行科学的评估与排序,是防空指挥中的重要环节,也是防空指挥员面临的难题之一。威胁评估一般仅考虑最大值所提供的信息,存在结果失真的情况,因而采用区间数来表示更有实际意义。针对空袭目标的威胁判断问题,分析了空袭目标威胁评判的准则,据此给出了影响目标威胁的主要因素,并给出了主要因素的隶属函数。将区间数和灰色理论结合,构建了灰色区间关联决策模型并应用于空袭目标威胁排序中,较准确地反映目标机动对威胁度的影响,且将系统中非主要因素考虑在内,使得威胁评估更加接近实战。最后,将模型运用于空袭目标威胁排序中,以实例证实了此方法的可行性。

关键词:灰色关联度;区间数;威胁评估;

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)03-0037-05

随着高技术军事上的应用,现代空袭环境变得愈来愈复杂。大规模的空袭,来自高、中、低不同空域,而且目标种类繁多,有轰炸机、歼击机、直升机和空地导弹等,甚至使用假目标配合。对付这种多批次、多机种、多层次、连续饱和和攻击的复杂情形,防空指挥员人为做出合理的射击决策比较困难。为了提高防空武器系统的作战能力,必须建立先进的防空指挥自动化系统。由于作战过程的重点是目标的威胁判断与火力分配,因此,如何对空袭目标的威胁程度进行科学的评估与排序是防空指挥中的重要环节,也是防空指挥员面临的难题之一^[1]。

威胁评估常见的方法是模糊综合评判^[2-4],该方法只应用了隶属向量中最大值所提供的信息(清晰数),各非最大值的大小不起作用,存在结果失真的情况。事实上,在军事领域中,获得的决策信息通常不确切,但可大致确定其上下界,即有一定范围,存在一个区间。因而,采用区间数来表示更有实际意义^[5]。本文将区间数与灰色理论结合应用于目标威胁评估中,更加符合实际作战。

1 灰色区间关联决策模型

1.1 灰色区间关联决策原理

设有决策集合 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 目标因素集合 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$, 方案 A_i 在目标 S_j 下的效果评价向量为

$$u_{ij} \in [u_{ij}^l, u_{ij}^u], 0 < u_{ij}^l < u_{ij}^u, 0 < i < n, n = 1, 2, \dots, n; 0 < j < m, m = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

为了消除量纲和增加可比性,用灰色极差变换进行标准化处理。对效益型:

$$x_{ij}^l = \frac{u_{ij}^l - u_{ij}^{\nabla}}{u_{ij}^{\Delta} - u_{ij}^{\nabla}}, \quad x_{ij}^u = \frac{u_{ij}^u - u_{ij}^{\nabla}}{u_{ij}^{\Delta} - u_{ij}^{\nabla}} \quad (2)$$

式中: $u_{ij}^{\Delta} = \max_{1 \leq i \leq n} u_{ij}^u; u_{ij}^{\nabla} = \min_{1 \leq i \leq n} u_{ij}^l; j = 1, 2, \dots, m。$

标准化后的各方案效果评价向量为 $x_{ij} \in [x_{ij}^l, x_{ij}^u]$ 且其值在 $[0, 1]$ 之间。

收稿日期: 2007-05-29

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2006AA701409)

作者简介: 骆文辉(1981-), 男, 甘肃天水人, 博士生, 主要从事反导作战研究. E-mail: lwh8117@163.com

$$x_j^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}^+\}, x_j^- = \min_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}^-\}, x_j = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}^+\}, x_j = \min_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}^-\}, j=1, 2, \dots, m \quad (3)$$

则称 m 维非负区间数向量 $x_j^+ \in [x_j^+, x_j^-]$ 为理想最优方案效果评价向量, 称 m 维非负区间数向量 $x_j^- \in [x_j^-, x_j^-]$ 为临界最优方案效果评价向量^[6-8]。

定义1 设标准化后的各方案效果评价向量及理想最优方案效果评价向量和临界最优方案效果评价向量由式(3)给出, 目标权重向量为 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, 则称

$$r_{ij}^+ = \frac{1}{2} \left[\frac{\min_{1 \leq i \leq n} \min_{1 \leq j \leq m} |x_{-j}^+ - x_{-ij}^+| + \lambda \max_{1 \leq i \leq n} \max_{1 \leq j \leq m} |x_{-j}^+ - x_{-ij}^+|}{|x_{-j}^+ - x_{-ij}^+| + \lambda \max_{1 \leq i \leq n} \max_{1 \leq j \leq m} |x_{-j}^+ - x_{-ij}^+|} + \frac{\min_{1 \leq i \leq n} \min_{1 \leq j \leq m} |\bar{x}_j^+ - \bar{x}_{ij}^+| + \lambda \max_{1 \leq i \leq n} \max_{1 \leq j \leq m} |\bar{x}_j^+ - \bar{x}_{ij}^+|}{|\bar{x}_j^+ - \bar{x}_{ij}^+| + \lambda \max_{1 \leq i \leq n} \max_{1 \leq j \leq m} |\bar{x}_j^+ - \bar{x}_{ij}^+|} \right] \quad (4)$$

为子因素 $x_{ij}(\otimes)$ 关于理想母因素 $x_j^+(\otimes)$ 的灰色区间关联系数 ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)。并称

$$G(x^+(\otimes), x_i(\otimes)) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \omega_j r_{ij}^+, i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

为方案 A_i 的效果评价向量关于理想最优方案的效果评价向量的灰色区间关联度, 并简称为方案 A_i 关于理想最优方案的灰色区间关联度^[9]。式(4)中 $\lambda \in [0, 1]$ 为分辨系数或者环境调节因子。

1.2 最大关联度方法模型

设有决策集合 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$; 目标因素集合 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, 方案 A_i 目标效果评价向量如式(1)所示, 试确定方案的优劣排序及最优方案。

利用灰色极差变换式(2)对式(1)进行标准化处理, 得到标准化后的各方案效果评价向量如式(3)所示, 再计算出决策问题的理想最优方案效果评价向量和临界最优方案效果评价向量。首先利用式(4)计算子因素 $x_{ij}(\otimes)$ 关于理想母因素 $x_j^+(\otimes)$ 的灰色区间关联系数(或灰色区间相对关联系数) $r_{ij}^+(i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$, 得方案 A_i 关于理想方案的多目标灰色关联系数向量为

$$r_i^+ = (r_{i1}^+, r_{i2}^+, \dots, r_{im}^+) \quad j=1, 2, \dots, m \quad (6)$$

设目标权重向量为 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, 则利用式(5)计算出方案 A_i 关于理想最优方案的灰色区间关联度(或灰色区间相对关联度) $G(x^+(\otimes), x_i(\otimes))$ ($i=1, 2, \dots, n$), 其值越大, 方案越优。因此, 可按关联度 $G(x^+(\otimes), x_i(\otimes))$ 的值从大到小的顺序给出方案优劣排序。

综上所述, 最大关联度决策算法为: ①利用灰色极差变换式(2)对非负区间灰数进行标准化处理, 得到各方案标准化的效果评价向量式; ②计算决策问题的理想方案效果评价向量; ③利用灰色区间关联系数公式计算出各方案的灰色关联度判断向量式; ④利用加权关联度公式计算各方案与理想方案之间的灰色区间关联度; ⑤按灰关联度 $G(x^+(\otimes), x_i(\otimes))$ 的值从大到小的顺序给出方案优劣排序, 其中关联度 $G(x^+(\otimes), x_i(\otimes))$ 的最大值对应的方案为最优方案。

2 威胁评估体系及指标函数

2.1 空袭目标威胁评判准则

影响空中目标的威胁度的因素很多。在众多因素当中, 既有定量描述, 也有定性描述, 而且相互之间的关系复杂。若要全面合理地考虑每个因素, 给出一个威胁程度与各种因素的函数关系, 非常困难。对地空导弹系统而言, 空袭目标的威胁程度主要根据上级是否指定, 是否有攻击意向, 攻击何种目标, 机型等因素综合判断空袭目标威胁程度。根据实际作战经验, 空袭目标威胁程度判断基本准则为^[2]: ①上级指定的目标是必须消灭的目标, 始终作为威胁程度最大的目标; ②有攻击意向的目标威胁程度大于无攻击意向的目标; ③机型不同, 威胁程度不同, 机型的威胁等级辅助决策由上级指定; ④飞行速度大的目标, 其威胁程度也大, 反之威胁程度就小; ⑤目标高度不同威胁程度不同, 低空目标的威胁程度大于非低空目标的威胁程度; ⑥空袭目标面临保卫目标的时间越长, 武器系统用于目标分配及射击准备的时间越充分, 目标的威胁程度越小; 反之, 目标的威胁程度越大。

决定目标威胁程度还有一些其它因素, 如空袭目标干扰性能、突防因素、目标架数因素等, 但在目前防空作战中主要坚持以上6条准则。

2.2 影响威胁评估的主要因素

威胁程度是指空袭兵器对被保卫目标进行侵袭成功的可能性及侵袭成功时可能造成的破坏程度。在防

空作战实际中,往往需要用多个因素刻画空袭目标的本质与特征。上级指定的目标是首选目标,因而不参与评判。根据上述防空评判的准则,我们可以得到影响目标威胁程度的主要因素为:目标类型、飞抵时间、飞行速度、航路捷径、飞行高度等。

空中目标的参数对威胁度的影响是:对于同一属性目标飞抵时间愈短、飞行速度愈大、航路捷径愈小、飞行高度愈低,则威胁程度愈大。

2.3 威胁评估主要因素的量化

上面选定的诸因素,可由搜索指挥系统或上级通报得知。但并不足以描述该目标的威胁程度需要转换为威胁隶属度函数,所以首先要设立一个量化标准。本文结合某型地空导弹的战术技术性能,建立如下标准^[2-3]:

1) 目标航路捷径(p)

$$\mu(p) = e^{-k(p-\alpha)^2}, -30 \leq p \leq 30$$

$$k = 5 \times 10^{-3}, \alpha = 0$$

2) 飞行速度(v)

$$\mu(v) = 1 - e^{\alpha v}, 0 < 0$$

$$\alpha = -0.005$$

3) 目标类型(T)。依据既有的应用实例,将以上5类目标属性隶属度定义为:0.92,0.85,0.55,0.43,0.04。

4) 到达发射区近界的时间(t)

$$\mu(t) = \begin{cases} e^{-k_1(t-\alpha_1)^2}, & t \in [0, 1800], k_1 > 0 \\ 1 + k_2(t-\alpha_2)^3, & t \in [-600, 0], k_2 > 0 \end{cases}$$

$$k = 2 \times 10^{-6}, \alpha_1 = \alpha_2 = 0, k_2 = -10^{-7}$$

5) 飞行高度(h)

$$\mu(h) = \begin{cases} 1, & 0 \leq h \leq a \\ e^{-k(p-\alpha)^2}, & 1000 < h < 30000 \end{cases}$$

$$k = 10^{-8}, \alpha = 100 \text{ m}$$

3 实例分析

假定在 t 时刻,传感器采集到的6个空中目标(X_1 为小型机1, X_2 为小型机2, X_3 为TBM, X_4 为大型机, X_5 为直升机, X_6 为诱饵)飞行参数和射击诸元参数区间值如表1所示。

表1 空袭目标参数表
Tab.1 Aerial target parameter

目标参数	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
t/s	[1 600, 1 300]	[200, -250]	[180, 177]	[850, 750]	[420, 300]	[790, 787]
$v/(m \cdot s^{-1})$	[420, 520]	[700, 500]	1 600	[280, 320]	[600, 700]	300
P/km	[12, 11]	[9, 10]	8	15	[-18, -20]	15
h/m	[3 000, 2 700]	[8 000, 9 000]	600	[7 000, 7 500]	[300, 250]	7 300

1) 由目标初始值,根据隶属度函数计算目标参数的隶属度区间,按式(2)进行标准化处理如表2所示。

表2 空袭目标参数的标准化向量
Tab.2 Parameter standardization vector

目标参数	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
T	0.421	0.421	0	0.080	0.557	1.000
t/s	[0.970, 1.000]	[0.584, 0.906]	0	[0.654, 0.751]	[0.101, 0.244]	[0.693, 0.695]
$v/(m \cdot s^{-1})$	[0.498, 0.700]	[0.668, 0.879]	1	[0, 0.182]	[0.797, 0.878]	0.097
p/km	[0.292, 0.388]	[0.096, 0.193]	0	0.651	[0.857, 1.000]	0.651
h/m	[0.062, 0.083]	[0.818, 1.000]	0	[0.639, 0.729]	0	0.693

2) 计算决策问题的理想方案效果评价向量:

$$x_j^+ = ([0.970, 1.000], [0.818, 1.000], [1, 1], [0.654, 0.751], [0.857, 1.000], [1, 1])$$

3) 计算出各方案的灰色关联度判断矩阵 r_{ij}^+ (取 $\lambda = 0.5$) 为

$$r_{ij}^+ = \begin{bmatrix} 0.4634 & 0.9719 & 0.5620 & 0.4318 & 0.3503 \\ 0.4634 & 0.6938 & 0.7031 & 0.3693 & 0.8666 \\ 0.3333 & 0.3333 & 1.0000 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3521 & 0.6293 & 0.3563 & 0.5889 & 0.6146 \\ 0.5302 & 0.3777 & 0.7575 & 0.8888 & 0.3333 \\ 1.0000 & 0.6203 & 0.3564 & 0.5889 & 0.6196 \end{bmatrix}$$

4) 计算灰色区间关联度

$$G(x^+(\otimes), x_i(\otimes)) = \frac{1}{m_j} \sum_{j=1}^m \omega_j r_{ij}^+ = (0.1371, 0.1741, 0.1827, 0.0636, 0.0770, 0.0664)$$

其中 ω_j 采用 AHP 法确定, 其值为 $\omega_j = (0.32, 0.24, 0.28, 0.14, 0.12)$ 。

5) 通过计算有

$$G_3 > G_2 > G_1 > G_5 > G_6 > G_4$$

即 TBM 的威胁最大, 其次依次为小型机、武装直升机、诱饵和大型机, 与专家预测相符。

4 结论

基于灰色区间数的评估算法能够较准确地反映目标机动对威胁度的影响, 且将系统中非主要因素考虑在内, 更符合实际情况, 具有较高的可信度。本文采用最大关联度决策进行研究, 并应用于实例中, 效果较好。此外, 在具体问题中, 根据乐观决策、悲观决策和“公正”决策的不同, 可采用最小关联度或综合关联度来决策。最小关联度具体方法与本文类似, 区别为理想值为负理想值, 综合关联决策将最大最小加权即可。

参考文献:

- [1] Morellas V, Pavlidis I, Tsiamyrtzis P. Detection of Evens for Threat Evaluation and Recognition[J]. Association for Computing Machinery, 2003, 10: 2945 - 2946.
- [2] Huang Yoping, Chu Hungchi. Simplifying Fuzzy Modeling by Both Gray Relational Analysis and Data Transformation Methods [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1999, 104: 183 - 197.
- [3] Huang Yoping, Huang Chichang. The Application of Fuzzy and Gradient Descent Methods to the Grey Prediction Control [J]. The Journal of Grey System, 1995, 7(1): 9 - 22.
- [4] 范春彦, 韩晓明, 王献峰. 基于最大隶属度的目标威胁评估与排序法 [J]. 系统工程与电子技术. 2003, 25(1): 47 - 49.
FAN Chunyan, HAN Xiaoming, WANG Xianfeng. Target Threat Evaluating and Sequencing Method Based on the Maximum Degree of Membership [J]. Systems Engineering and Electronics. 2003, 25(1): 47 - 49. (in Chinese)
- [5] 冯 卉, 邢清华, 宋乃华. 一种基于区间数的空中目标威胁评估技术 [J]. 系统工程与电子技术. 2006, 28(8): 1201 - 1203.
FENG Hui, XING Qinghua, SONG Naihua. Aerial Targets Threat Evaluation Technology Based on Interval Number [J]. Systems Engineering and Electronics. 2006, 28(8): 1201 - 1203. (in Chinese)
- [6] Tzu Yu Liuo, Jerome Yeha, Chien Ming Chena, et al. A Grey ART System for Grey Information Processing [J]. Neurocomputing, 2004, 56: 407 - 414.
- [7] Greco S, Matarazzo B, Slowinski R. Rough Sets Methodology for Sorting Problems in Presence of Multiple Attributes and Criteria [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 138 (3): 247 - 259.
- [8] Deng Julong. Grey Hazy Sets [J]. The Journal of Grey System, 1992, 4(1): 13 - 30.
- [9] 罗 党. 灰色决策问题的分析方法研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2004.
LUO Dang. Study on the Analytic Methods for Grey Decision - making [D]. Nan jing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2004. (in Chinese)

Threat Evaluation Technology Based on Grey Interval - number for Grey Decision - making

LUO Wei - hui, LIU Shao - wei, YANG Jian - jun

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

Abstract: Aimed at the air - raid target threat, the index system of the threat evaluation, quantified and indexed by the fuzzy membership function, is given based on the guideline of the threat evaluation. Usually in threat evaluation, only the information provided by the maximum is taken into account and the general values are ignored, which will bring distortion into existence. So, in this situation, it is more meaningful and significant to adopt interval - number in expression. In view of the judgment problem of the air - raid target threat, the criterion for the judgment of the air - raid target threat is analyzed and the main factors effecting on the target threat are given based on this. Then, by combining the interval number with the Grey relationship grade theory, a new multi - objective decision - making model is constructed and applied to the threat sequence of the air - raid target, which can more accurately reflect the influence of target maneuver on threat degree. In this way, the non - chief factors in the system are also taken into account, which makes the threat evaluation closer to the actual combat. Finally the model is applied to the air - raid target threat sequence, and the example shows that this method is feasible.

Keywords: Grey relationship analysis, interval - number, threat evaluation

(上接第 36 页)

Algorithm of Particle Filter Interacting Multiple Model Suitable for Passive Array Tracking

WANG Kai¹, ZHANG Yong - shun¹, SHANG Zhen - feng²

(1. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. Department of AFLDU, Beijing 100076, China)

Abstract: To solve the ineffective performance of passive array tracking, this paper presents an interacting multiple model particle filter algorithm (IMM - PF) by combining the interacting multiple model with the particle filter method together. In using this algorithm, the structure of multiple models is adopted to track arbitrary maneuvering of the target, and at the same time particle filter method is employed in each model to deal with the nonlinear/non - Gaussian problems. After interaction and particle filtering, particles in each model with the fixed number are re - sampled to reduce the degeneracy of filtering. First, in the interaction stage, the particles corresponding to each model are input and interacting. Then, estimation resample is obtained by picking out N sampling points in the filtering stage, thereby the estimation output and the related function are gained. In the combination stage, the posteriori probability density functions of the state vectors are obtained, by combining the probability density functions of the different modes taking into account the mode probabilities. In the simulations, by comparison with the general interacting multiple model, the results demonstrate the correctness and efficiency of this new filtering method.

Key words: interacting multiple model; particle filter; nonlinear / non - Gaussian; re - sampling