

# 基于 OWA 算子威胁评估的群决策方法

张肃<sup>1</sup>, 申卯兴<sup>1</sup>, 王锦江<sup>2</sup>, 周浩<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘要:** 基于作战实际情况, 提出了一种新的基于 OWA 算子的威胁评估方法。采用将主观偏好信息一致化为效用值的方法, 通过 OWA 算子集结出决策群体的主观偏好信息, 建立主客观信息相集成的威胁评估模型, 然后通过二次规划模型计算属性权重, 最后“通过一个排序公式”得出目标的威胁评估值和排序结果。所建立的威胁评估模型更为符合作战的实际过程, 算例表明了方法的有效性。

**关键词:** 威胁评估; 群决策; 主观偏好信息; OWA 算子; 一致化

**中图分类号:** O22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)05-0060-03

威胁评估属于数据融合系统中高层信息融合范畴<sup>[1]</sup>。在实际的作战指挥过程中, 各种传感器为指挥中心提供客观的战场态势信息, 而且决策者可能凭借自己的经验给出对目标威胁程度的主观判断, 基于这两点考虑, 提出了一种新的目标威胁评估方法。针对建模的思路有 3 点需要说明: 第 1 是决策者可能给出的主观偏好信息一般是对各目标给出的; 第 2 是决策者凭借其作战经验可能给出不同形式的主观偏好信息; 第 3 是战场情况瞬息万变, 事先确定各项指标的权重是不够合理的。

## 1 目标威胁评估的指标体系及隶属函数

威胁程度影响因素有飞行速度  $v(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ 、飞抵时间  $t(\text{s})$ 、航路捷径  $p(\text{km})$  和飞行高度  $h(\text{km})$ 。4 个因子构成评估的指标体系, 可以较全面地描述目标的威胁程度。

由于威胁程度的大小具有模糊性, 可建立各指标的隶属函数如下, 文献[2]对其含义有详细解释。

飞行速度威胁隶属函数见式(1); 飞抵时间威胁隶属函数见式(2); 航路捷径威胁隶属函数见式(3); 飞行高度威胁隶属函数见式(4)。

$$\tilde{\mu}(v) = 1 - e^{-0.005v} \quad (v > 0) \quad (1)$$

$$\tilde{\mu}(t) = \begin{cases} e^{-2 \times 10^{-6}t^2} & (0 \leq t \leq 1800) \\ \frac{1}{1 - 10^{-7}t^3} & (-600 \leq t < 0) \end{cases} \quad (2)$$

$$\tilde{\mu}(p) = e^{-0.005p^2} \quad (-30 \leq p \leq 30) \quad (3)$$

$$\tilde{\mu}(h) = \begin{cases} 1 & (0 \leq h \leq 1) \\ e^{-10^{-8}(h-1)^2} & (1 < h \leq 30) \end{cases} \quad (4)$$

## 2 决策群体给出主观偏好信息的形式及一致化方法

### 2.1 决策群体给出主观偏好信息的形式

针对来袭的  $n$  批目标  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 决策群体集为  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ , 其中  $d_k (k=1, 2, \dots, m)$  表示第  $k$  个决策者。给出其主观偏好信息的形式有以下几种: 效用值  $u^{(k)} = (u_1^{(k)}, u_2^{(k)}, \dots, u_n^{(k)})^T$ ; 模糊语言

收稿日期: 2007-01-24

基金项目: 武器装备预研基金项目(9140A0604306JB0503)

作者简介: 张肃(1980-), 男, 甘肃天水人, 博士生, 主要从事决策分析、效能评估与智能信息处理研究;

申卯兴(1961-), 男, 陕西合阳人, 教授, 主要从事防空作战决策分析、效能评估与智能信息处理研究。

评价值  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_7\}$ ; 互反判断矩阵  $B^{(k)} = (b_{ij}^{(k)})_{n \times n}$ ; 模糊互补判断矩阵  $P^{(k)} = (p_{ij}^{(k)})_{n \times n}$ 。各符号含义的详细解释可参阅文献[3-6]。

具体采用哪一种形式, 应由决策者根据具体情况自己决定。

### 2.2 几种偏好信息的一致化方法

这些偏好信息的形式差异较大, 为便于后续讨论, 采用一致化为效用值的方法<sup>[3-6]</sup>:

1) 模糊互补判断矩阵转化为效用值的方法。

$$u_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(k)} + \frac{n}{2} - 1/n(n-1), i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

2) 互反判断矩阵转化为效用值的方法。

$$u_i^{(k)} = \left( \prod_{j=1}^n b_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{n}} / \sum_{i=1}^n \left( \prod_{j=1}^n b_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{n}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

3) 模糊语言评价值转化为效用值的方法。

可以令模糊语言评价值  $s_i$  所描述的自然语言分别对应一个效用值。例如:  $S = \{s_0 = \text{很低} = 0, s_1 = \text{低} = 0.1, s_2 = \text{中低} = 0.3, s_3 = \text{中} = 0.5, s_4 = \text{中高} = 0.7, s_5 = \text{高} = 0.9, s_6 = \text{很高} = 1\}$ , 则转化为效用值的公式为

$$u_i^{(k)} = s_i^{(k)} / \sum_{i=1}^n s_i^{(k)}, i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

## 3 考虑决策群体主观偏好信息的目标威胁评估方法

### 3.1 基于 OWA 算子决策群体主观偏好信息的集结方法

定义 1<sup>[7-8]</sup> 设  $OWA: R_m \rightarrow R$ , 若

$$OWA_w(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) = \sum_{j=1}^m w_j b_j \quad (8)$$

则称 OWA 算子是有序加权平均算子。其中,  $b_j$  是一组数据  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$  中第  $j$  大的元素,  $R$  为实数集,  $R^m$  为  $m$  维实数空间, 权向量  $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$  是与 OWA 算子相关联的加权向量,  $w_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, m)$ ,  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ 。权向量中的元素  $w_j$  可由模糊量化算子  $F(u)$  计算得到<sup>[8]</sup>。

根据上节理论, 将专家偏好信息一致化为效用值, 采用 OWA 算子集结决策群体主观偏好信息为

$$u'_i = OWA_w(u_i^{(1)}, u_i^{(2)}, \dots, u_i^{(m)}), i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

则决策群体的主观偏好信息  $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$  为

$$u_i = u'_i / \sum_{i=1}^n u'_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

### 3.2 主客观信息相集成的目标威胁评估方法

对于目标  $x_i \in X$ , 按第  $j (j = 1, 2, 3, 4)$  个属性进行测度, 可得到属性值  $a_{ij}$ , 从而构成决策矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times 4}$ 。经模糊处理后, 得到隶属度矩阵为  $R = (r_{ij})_{n \times 4} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4)$ 。

定理 1 根据上节理论经集结可得决策群体对  $n$  个目标的主观偏好信息的效用值  $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$ ,

设属性权重向量为  $l = (l_1, l_2, l_3, l_4)^T, l_j \geq 0, \sum_{j=1}^4 l_j = 1$ , 则属性权重  $l_j$  为

$$l_j = \left[ \sum_{j=1}^4 \frac{1}{\sum_{i=1}^n (r_{ij} - u_i)^2} \right]^{-1} \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (r_{ij} - u_i)^2 \right]^{-1}, (j = 1, 2, 3, 4) \quad (11)$$

证明 权重向量的选取应使在所有属性下决策者主客观偏好的总偏差达到最小, 建立如下二次规划模型:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 [(r_{ij} - u_i) l_j]^2, \text{ s. t. } l_j \geq 0 (j = 1, 2, 3, 4), \sum_{j=1}^4 l_j = 1。$$

构造拉格朗日函数为  $L(l, \xi) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 [(r_{ij} - u_i) l_j]^2 + 2\xi (\sum_{j=1}^4 l_j - 1)$ 。

求其偏导数,经计算可得  $l_j = \left[ \sum_{j=1}^4 \frac{1}{\sum_{i=1}^n (r_{ij} - u_i)^2} \right]^{-1} \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (r_{ij} - u_i)^2 \right]^{-1}$ 。证毕。

根据模糊隶属度矩阵,可得到最优理想方案为  $(g_1, g_2, g_3, g_4)^T$  (其中  $g_j = \max_i (r_{ij})$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  或是根据隶属函数的性质选取最优理想方案为  $(1, 1, 1, 1)^T$ , 则评估值为

$$z_i(l) = \sum_{j=1}^4 (g_j - r_{ij})^2 l_j^2, i = (1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

评估值越小,则相应目标的威胁度越大,据此可对所有的目标进行威胁评估与排序。

## 4 算例

对来袭的 3 批目标进行威胁评估。目标特征值如表 1 所示<sup>[1]</sup>, 目标的隶属度如表 2 所示。

表 1 目标特征值

目标	飞行速度/(m·s <sup>-1</sup> )	飞抵时间/s	航路捷径/km	飞行高度/km
X <sub>1</sub>	320	-250	5	3
X <sub>2</sub>	180	420	-12	0.3
X <sub>3</sub>	1 600	180	8	7

表 2 目标隶属度

目标	飞行速度	飞抵时间	航路捷径	飞行高度
X <sub>1</sub>	0.798	0.390	0.883	0.961
X <sub>2</sub>	0.593	0.703	0.487	1
X <sub>3</sub>	1	0.937	0.726	0.698

现有 4 名决策者,分别给出如下的主观偏好信息分别为:  $d_1: \mathbf{u}^{(1)} = (0.3, 0.5, 0.2)^T$ ,  $d_2: \tilde{\mathbf{v}}^{(2)} = (s_1, s_2,$

$$s_5)^T, d_3: \mathbf{B}^{(3)} = \begin{bmatrix} 1 & 1/9 & 3 \\ 9 & 1 & 8 \\ 1/3 & 1/8 & 1 \end{bmatrix}, d_4: \mathbf{p}^{(4)} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.8 & 0.4 \\ 0.2 & 0.5 & 0.1 \\ 0.6 & 0.9 & 0.5 \end{bmatrix}。$$

一致化为效用值后为:  $\mathbf{u}^{(2)} = (0.08, 0.23, 0.69)^T$ ,  $\mathbf{u}^{(3)} = (0.3, 0.49, 0.21)^T$ ,  $\mathbf{u}^{(4)} = (0.37, 0.21, 0.42)^T$ 。

根据 OWA 算子,采用“至少一半”原则,模糊量化算子  $F(u)$  的参数  $(c, e) = (0.3, 0.8)$ , OWA 算子的权重向量为  $\mathbf{w} = (0, 0.4, 0.5, 0.1)^T$ , 则群体主观偏好信息为  $\mathbf{u} = (0.31, 0.37, 0.32)^T$ 。

经计算可得属性权重为  $\mathbf{l} = (0.21, 0.32, 0.31, 0.16)^T$ , 取最优理想方案为  $(1, 1, 1, 1)^T$ , 威胁评估值经计算为:  $z_1(l) = 0.041\ 256\ 9$ ,  $z_2(l) = 0.041\ 628\ 3$ ,  $z_3(l) = 0.009\ 956\ 05$ , 排序结果为  $x_3 > x_1 > x_2$ , 第 3 个目标的威胁程度最大。

## 5 结束语

传统的威胁评估模型没有考虑决策者凭其作战经验给出的主观偏好信息,在实际作战辅助决策过程中不考虑决策者的作战经验,对整个评估模型来说是一种信息损失,并不贴近作战的实际。文中建立的主客观信息相集成的威胁评估模型是更加贴近作战实际的,并且已经在工程实践中得到了应用。

### 参考文献:

- [1] 何友,王国宏.多传感器信息融合及应用[M].北京:电子工业出版社,2000.
- [2] 张肃.空中目标威胁评估技术[J].情报指挥控制系统与仿真技术,2005,27(1):41-45.
- [3] 陈华友,刘春林.群决策中基于不同偏好信息的相对熵集合法[J].东南大学学报:自然科学版,2005,35(2):311-315.
- [4] 张肃,王颖龙,高莹.基于不确定语言信息的群决策方法及其应用[J].空军工程大学学报:自然科学版,2006,7(6):47-50.

Antennas and Propagation, 1996, 44(12):1630-1639.

- [5] 刘顺坤,傅君眉. 电磁脉冲对目标腔体的孔缝耦合效应数值研究[J]. 电波科学学报, 1999, 14(2):202-206.  
 [6] 陈莉,赵永久. 电磁脉冲对带孔缝腔体的耦合特性[J]. 火控雷达技术, 2005, 34(2):29-33.  
 [7] 孟萃,陈雨生,王建国. 瞬态电磁场对多孔目标耦合规律的数值研究[J]. 强激光粒子束, 2000, 12(6):732-736.  
 [8] 王建军,刘国治,陈雨生. 微波脉冲孔缝线性耦合的数值与实验研究[J]. 微波学报, 1995, 11(4):224-251.

(编辑:田新华,徐楠楠)

## Application of UPML Absorbing Boundary in Calculation of Electromagnetic Pulse Coupling into Slot

CHEN Wei-hua<sup>1</sup>, ZHANG Hou<sup>1</sup>, XU Hai-yang<sup>1</sup>, YANG Yu-jun<sup>2</sup>

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, San Yuan 713800, Shaanxi, China; 2. Space Science and Technology Group 771 Academy, Xi'an 710075, China)

**Abstract:** This article simulates the coupling processes of electromagnetic pulse into a cavity with a slot, and utilizes the uniaxial anisotropic perfectly matched layer (UPML) as absorbing boundary condition to truncate the calculation region by a finite difference time domain method (FDTD). According to the calculation of electric field and its frequency domain characteristic of some special grids, the rules of electromagnetic pulse coupling into a cavity with a slot are obtained. The result shows that uniaxial anisotropic perfectly matched layer is effective in serving as absorbing boundary.

**Key words:** finite - difference time - domain method; uniaxial anisotropic perfectly matched layer; absorbing boundary; shielding effectiveness

(上接第 62 页)

- [5] Chiclana F, Herrera F, Herrera - Viedma E. Integrating three Representation Models in Fuzzy Multipurpose Decision Making Based on Fuzzy Preference Relations [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1998, 97(1):33-48.  
 [6] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.  
 [7] Yager R R. Applications and Extensions of OWA Aggregations [J]. International Journal of Man - Machine Studies, 1992, 37(2):103-132.  
 [8] 王欣荣,樊治平. 一种具有不同形式偏好信息的群决策方法[J]. 东北大学学报:自然科学版, 2003, 24(2):178-181.

(编辑:田新华,徐楠楠)

## A Group Decision - Making Method of the Threat Evaluation Based on OWA Operator

ZHANG Su<sup>1</sup>, SHEN Mao-xing<sup>1</sup>, WANG Jin-jiang<sup>2</sup>, ZHOU Hao<sup>1</sup>

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** In view of actual warfare facts a new method of the threat evaluation based on the OWA operator is put forward. Through the method of unifying preference information into the utility value form, and the subjective preference information of decision - making group is aggregated by the OWA operator. Then the threat evaluation model integrating the subjective and the objective preference information is established in the paper. The attributes weight can be calculated by a quadratic programming model. The degree of threat can be obtained through the decision - making models. The threat evaluation method is in accord with the actual war process. The validity of this method is demonstrated in an example.

**Key words:** threat evaluation; group decision - making; subjective preference information; OWA operator; unifying