

部分特征值未知的空中目标威胁程度排序方法

田桐良, 刘作良, 王广云, 张濡川

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:空袭目标威胁程度的判断是要地防空作战指挥决策中的核心问题之一,它涉及许多不确定的因素,甚至是无法得知的。这些都可能使得己方获得的情报不足以确定空中目标的全部特征。文中利用证据理论对“无知”情况的处理,结合层次分析法,提出了一种解决部分特征值未知的威胁排序方法,并通过实例进行了说明。

关键词:威胁排序;证据理论;层次分析法

中图分类号:E917 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)02-0055-04

目标威胁估计和排序是要地防空作战指挥决策中的重要组成部分,过去传统方法对部分特征值未知的威胁估计和排序往往采用模糊评价的方法进行研究。但是,不管用什么方法,估计目标威胁值或者对目标威胁程度进行排序时,总需要目标的威胁因素(目标特征)值,即便它是不确定的、模糊的或者是定性的描述^[1-2]。因此,如何对这种部分特征值完全未知的情形进行威胁估计和排序,是一件比较棘手的问题。现今,由于证据理论对不确定性问题处理的优越性,为更好、更有效的进行部分特征值未知的目标威胁估计和排序提供了基础。基于此,本文提出基于证据理论和 AHP 方法的部分特征值未知的目标威胁程度排序模型。

1 AHP 与证据理论

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称为 AHP), 是一种普遍实用的定性定量相结合的多准则决策方法。运用 AHP 方法进行决策时,大体上可以分为 4 步:①分析系统中各因素之间的关系,建立系统的递阶层次结构;②对同一层次各元素关于上一层中的某一准则的重要性进行两两比较,构造该准则的判断矩阵;③由判断矩阵计算被比较元素对于该准则的相对权重;④计算各层元素对系统总目标的合成权重,并进行排序^[3]。

证据理论 (The Theory of Evidence) 是一种不确定性推理方法,该理论引入信任测度和似然测度来分别描述命题的精确信任度和似真信任度,从而使证据理论能从不同角度描述命题的不确定性。另外,它还能通过对“无知”赋予支持度,处理由其引起的不确定性^[4]。

证据理论对命题处理的基本原理是:对于一个所需解决的问题,设所能认识到的可能结果用集合 Θ 来表示,则 Θ 就是识别框架。如果集函数 $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ (2^Θ 为 Θ 的幂集) 满足:

$$\begin{cases} m(\Phi) = 0 \\ \sum_{A \subseteq X} m(A) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

则称 m 为框架 Θ 上的基本可信度分配函数。 $m(A)$ 表示证据支持命题 A 发生的程度,但不支持任何 A 的真子集。如果 $m(A) > 0$, 则称 A 为信任度函数的焦点,所有焦点的并称为它的核心。在基本可信度分配

收稿日期:2003-10-23

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:田桐良(1966-),男,湖南湘潭人,硕士生,主要从事指挥自动化和智能决策研究;

刘作良(1938-),男,四川成都人,教授,博士生导师,主要从事指挥自动化、通信与信息系统研究。

函数的基础上,又定义了两个测度函数 $Bel(A): 2^\Theta \rightarrow [0,1]$ 和 $Pl(A): 2^\Theta \rightarrow [0,1]$

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B), Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) \quad \forall A, B \subseteq \Theta \quad (2)$$

则称 $Bel(A)$ 和 $Pl(A)$ 分别为框架上的信任测度和似然测度。 $Bel(A)$ 表示全部给予命题 A 的支持程度; $Pl(A)$ 表示不怀疑 A 的程度或者说发现 A 可靠或似真的程度。

两个信任测度函数可用 Dempster 合成法则来进行合成。设 Bel_1 和 Bel_2 是同一识别框架 Θ 上的两个信任测度, m_1 和 m_2 分别是其对应的基本可信度分配函数, 焦点分别是 $A_i (i=1, 2, \dots, k)$ 和 $B_j (j=1, 2, \dots, l)$, 设 $\sum_{A_i \cap B_j = \Phi} m_1(A_i) m_2(B_j) < 1$, 且记 $m_1 \oplus m_2(A)$ 表示合成后的基本可信度分配函数, 则有:

$$m_1 \oplus m_2(A) = \begin{cases} 0 & A = \Phi \\ \frac{\sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i) m_2(B_j)}{1 - \sum_{A_i \cap B_j = \Phi} m_1(A_i) m_2(B_j)} & A \neq \Phi \end{cases} \quad (3)$$

Dempster 合成法则可以推广到多个信任测度函数的情况^[3]。

2 排序方法

在部分特征值未知的情况下,令空中目标辨认的识别框架 $E = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 。其中元素 A_i 表示空中目标。由于传感器探测和情报获取不全等等原因,有可能对目标的部分特征值不能确知,这样,在利用目标特征值作威胁程度估计和排序时,某特征下的空中目标数 $\|A_i\| < n$ 。设在某特征下的目标框架中,有几个目标具有相同的特征值,或者决策者认为它们具有同样的威胁程度,则把这几个目标归入框架 E 的一个子集内。如在特征进攻角 C_j 下,目标 A_1, A_2, \dots, A_r 具有同样的特征值(或威胁程度): $x_{1j} = x_{2j} = \dots = x_{rj} (1 \leq r \leq n)$, 则令 $H_{kj} = \{A_1, A_2, \dots, A_r\}$, 可见 $H_{kj} \subset E$, 并且令 $H_{kj} \cap H_{sj} = \Phi (k \neq s, H_{kj}, H_{sj} \neq \Phi)$ 。由于部分特征值未知,有 $\bigcap_{k=1}^N H_{kj} \neq E (1 \leq N \leq n)$ 。再把特征值未知的目标和无法进行特征值测量的目标归入整体框架 E 。这样,在某一特征下,就可以利用 AHP 方法中的两两比较法进行框架目标集合的比较。运用这种方法进行决策的步骤可分为以下几步:

第一步:将所有空中目标构建成识别框架 E , 即 $E = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 。

第二步:建立递阶层次结构。注意在这里,某一特征下的元素不再是单个目标,而是多目标的集合和框架 E 。

第三步:确定各特征的相对权重 ω_j 。

第四步:构造判断矩阵。在某一特征 C_j 下,选择合适的目标集合 $H_{kj}, H_{sj} \subset E$, 且 $H_{kj} \cap H_{sj} = \Phi (k \neq s, H_{kj}, H_{sj} \neq \Phi)$ 。由于某些特征值未知,有 $\bigcap_{k=1}^N H_{kj} \neq E (1 \leq N \leq n)$ 。令相同的集合相比,值为 1; H_{kj} 与 E 比较,值为 $y_{kj} = \lambda_{kj}$ 。 λ_{kj} 表示具有威胁因素(目标特征) C_j 的空中目标 A_k 的威胁程度^[5]; H_{kj} 与 H_{sj} 相比较 ($k \neq s$), 值为 0。虽然 H_{kj} 未与 H_{sj} 直接进行比较,但通过框架 E 间接进行了比较。这样就避免了在传统 AHP 方法中的判断矩阵中的不一致问题。

第五步:在特征 C_j 下,更新比较值。令 $y_{kj}^* = \omega_j \times \lambda_{kj}$, 相同子集相比仍为 1。

第六步:利用更新后的判断矩阵,求出特征向量,并归一化。

第七步:以每一特征下的特征向量作为一证据,利用 Dempster 合成法则进行合成。

第八步:利用得到的信任测度或似然测度进行分析、排序。

3 实例分析

设在某防空作战中,对敌空中目标进行威胁估计。现设空中出现 5 批目标(A_i),各批目标的距离、速度、高度和进攻角的可测得的数值如表 1 所示。其中#表示其对应特征值暂时未可测得。

根据前面提出的方法,首先构造识别框架 E 。令 $E = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$ 。再确定各威胁因素(特征)的相对权重。令 $W = (0.180, 0.131, 0.115, 0.074)$, 建立递阶层次结构,如图 1 所示。

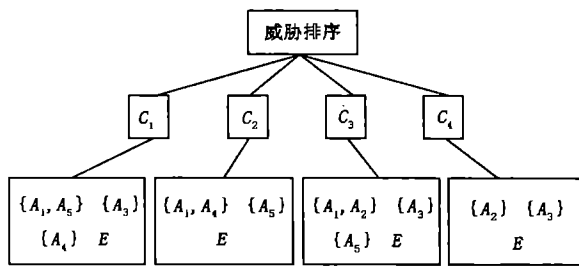


图 1 威胁排序的递阶层次结构

根据威胁因素对我目标的影响程度^[5],构造判断矩阵,如表 2 所示。

表 2 威胁排序的判断矩阵

C_1	$\{A_1, A_5\}$	$\{A_3\}$	$\{A_4\}$	E	m_1
$\{A_1, A_5\}$	1	0	0	2(1.360)	0.210 2
$\{A_3\}$	0	1	0	8(5.440)	0.841 0
$\{A_4\}$	0	0	1	4(2.720)	0.420 5
E	1/2(0.735)	1/8(0.184)	1/4(0.368)	1(1)	0.267 8
C_2	$\{A_1, A_4\}$	$\{A_5\}$	E	m_2	
$\{A_1, A_4\}$	1	0	7(0.917)	0.537 6	
$\{A_5\}$	0	1	2(0.262)	0.153 6	
E	1/7(1.091)	1/2(3.817)	1(1)	0.829 1	
C_3	$\{A_1, A_2\}$	$\{A_3\}$	$\{A_5\}$	E	m_3
$\{A_1, A_2\}$	1	0	0	6(0.690)	0.309 5
$\{A_3\}$	0	1	0	8(0.920)	0.412 7
$\{A_5\}$	0	0	1	7(0.805)	0.361 1
E	1/6(1.449)	1/8(1.087)	1/7(1.242)	1(1)	0.776 9
C_4	$\{A_2\}$	$\{A_3\}$	E	m_4	
$\{A_2\}$	1	0	3(0.222)	0.140 6	
$\{A_3\}$	0	1	9(0.666)	0.421 8	
E	1/3(4.505)	1/9(1.502)	1(1)	0.895 7	

在判断矩阵中,括号内的数值为更新后的比较值。如在距离特征下, $\{A_1, A_5\}$ 的威胁程度为 2, 则 $\{A_1, A_5\}$ 与 E 的比较值为 2, 更新后为 $2 \times 0.680 = 1.360$ 。用更新后的值取代括号前的值, 重新构成判断矩阵进行计算, 得出特征向量 $m_i (i = 1, 2, 3, 4)$, 并归一化。如距离特征下, 为 $m_1 = (0.121, 0.483, 0.242, 0.154)$ 。再对这 4 组数据(证据)进行 Dempster 合成, 得到的最终值见表 3。

表 3 威胁排序的 m, Bel, Pl

	m	Bel	Pl		m	Bel	Pl
$\{A_1\}$	0.020 9	0.020 9	0.059 6	$\{A_1, A_2\}$	0.017 0	0.042 6	0.086 9
$\{A_2\}$	0.004 7	0.004 7	0.013 4	$\{A_1, A_4\}$	0.014 0	0.090 8	0.138 1
$\{A_3\}$	0.179 3	0.179 3	0.511 8	$\{A_1, A_5\}$	0.008 7	0.057 9	0.110 5
$\{A_4\}$	0.055 9	0.055 9	0.159 5	E	0.021 6	1	1
$\{A_5\}$	0.028 3	0.028 3	0.080 8				

在对威胁进行评估和排序时,尽可能的考虑对我最不利的情况,故取似然测度作为排序的准则,由此可以得出威胁排序结果为 $A_3 > A_4 > A_5 > A_2 > A_1$ 。

4 小结

空中目标的威胁值决定于空中目标的属性特征,如目标类型、距离、速度、高度、所携带的空袭武器的数量和性能、接近攻击要地时所处的进攻角,以及所攻击的地(水)面目标(要地)的结构和性能。在防空体系的指挥控制中,不要求出空中目标的实际威胁值,而只需对它们的威胁值按大到小顺序排队即可。本文

提出的方法,避免了 AHP 中必须考虑的一致性问题。最主要的是,它能利用证据理论中对“无知”的处理,结合 AHP 方法较好地解决了在空中目标部分特征值未知下的排序问题,这种方法为解决复杂情况下的威胁估计和排序提供了一种新的途径。

参考文献:

- [1] 刘昌云,宋万德,贺正洪. 基于数据仓库技术的目标威胁估计模型[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2001,2(4):70-73.
- [2] 杨建宏,韩林. 模糊变权法在通信指挥效能评估上的应用[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2003,4(2):41-45.
- [3] 王莲芬,许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京:中国人民大学出版社,1990.
- [4] 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.
- [5] 曲长文,何友,马强. 应用多属性决策的威胁评估方法[J]. 系统工程与电子技术,2000,22(5):26-29.

(编辑:门向生)

The Threat Sequencing of Air Target on Partial Unknown Attribute Value

TIAN Tong-liang, LIU Zuo-liang, WANG Guang-yun, ZHANG Ru-chuan

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: The assessment of the extent of threat from an air raiding target, as one of the key problems in the decision of air defense command, involves many uncertain factors and some other unknown factors which will make the information available insufficient for the decision-maker to determine all the attributes of the air target. Therefore, by employing Dempster/Shafar Theory of Evidence (DST) to deal with ignorance and incorporating Analytic Hierarchy Process (AHP), the method for threat sequencing based on partial unknown attribute value is presented. In addition, an example is applied to show the method.

Key words: threat sequencing; DST; AHP

(上接第 29 页)

WSEIAC Model Research of Air-to-Surface Strike for Attacker

ZHENG Hai, HUANG Shu-cai, LIU Hui

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

Abstract: Air-to-surface strike is a valid means of capturing the air superiority and supporting the ground troops. For validly analyzing effectiveness of attacker, on the base of aviation weapon performance index and the combat background of breaking through enemy anti-air firepower, the WSEIAC model of strike for attacker and the method of settling the model parameters at the angle of actual combat are put forward. A basic process of the effectiveness evaluation is given and an analysis of living example is made. The result indicates that various factors affecting the system effectiveness are fully considered and the established model can objectively describe the essence of air-to-surface strike combat for attacker and can give a reference to the battle commanders.

Key words: attacker; system effectiveness; parameters; model