

静态初始条件下的战斗机引导方法决策

于雷, 周焘, 任波

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:战斗机引导是空战中一个非常重要的过程。在静态初始条件下,引导方法的选择是一个定性定量相结合的多属性决策问题,优序法为解决该类问题的有效方法。首先分析战斗机引导的特点,确定该决策问题的5个属性:引导时间,阻敌距离,能量消耗,目标类型适应度和目标机动适应度。然后分析引导方法在各属性下的优先序。最后,建立基于优序法的引导方法决策数学模型,并通过算例进行了验证。该决策模型能够有效解决静态初始条件下的引导方法决策问题。

关键词:战斗机引导;引导方法;优序法;优先序;决策

中图分类号: V249.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)05-0001-04

战斗机引导是根据指挥系统的引导指令或机载设备搜索目标所获得的信息(位置、速度、航向等),以给定的指标,自动将携带制导武器的战机引导到目标区域,或者为飞行员提供飞行参数来引导飞机飞行,最终为实施攻击提供必要的条件。直线截击法、比例引导、追踪法等多种引导方法在理论上已经趋于成熟^[1-4],可投入到实际应用中。因此,面对复杂的战场情况,指挥员有多种引导方法可以选择。而如何选取一种最优的引导方法,就需要进行决策。决策是指以对事物发展规律及主客观条件的认识为依据,寻求并实现某种最佳的准则和行动方案而进行的活动^[5]。针对不同类型的决策问题,目前已有多种成熟的决策方法,包括:加权和法,加权积法, TOPSIS 法,层次分析法(AHP),群决策法和优序法等。其中,优序法可以有效解决权重为基数、属性值为序数的多属性决策问题^[6]。本文中,静态初始条件是指在决策时刻,我方飞机在机场待命,或离敌方飞机距离很远,可以忽略其飞行状态。本文将根据战斗机引导特点,建立基于优序法静态初始条件下的引导方法决策模型。

1 静态初始条件下引导方法决策问题分析

在引导方法决策过程中,决策者需要考虑的因素有:引导时间、阻敌距离、能量消耗、敌方飞机类型、敌我双方武器性能、敌机机动可能性等。所以引导方法决策属于典型的多属性决策,这几个影响因素即为该决策问题的属性。因为初始条件为静态,这些属性不能得到具体数值进行比较。但通过定性分析,能够得出在某个属性下的引导方法的偏好序。同时根据敌方飞机的类型、敌方意图以及我方战役目标可以确定这些属性之间的重要性权值。可见,该决策问题是权重为基数、属性值为序数的多属性决策问题,解决该问题的有效方法为优序法。

多属性决策规范模型为 $\max_{x \in K} F(x)$ 。其中, x 为备选方案(决策变量), R 为备选方案集。属性向量函数 $F(x)$ 通常由 m 个单属性函数 $f_j(x) (j=1, 2, \dots, m)$ 组成, $F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]^T$ 为向量表示形式^[5]。

设引导方法决策问题的方案集为 $R = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} (n=7)$, 表示7种典型的引导方法。其中: x_1 为追

收稿日期:2006-11-16

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:于雷(1962-),男,湖南长沙人,教授,博士生导师,主要从事航空火力控制理论及应用研究。

踪法, x_2 为平行接近法, x_3 为直线截击法, x_4 为转弯截击法, x_5 为比例引导, x_6 基于视线角速率的最优引导控制律, x_7 为增广比例引导。

属性 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ ($m=5$), 分别表示引导时间 f_1 , 阻敌距离 f_2 , 能量消耗 f_3 , 目标类型适应度 f_4 和目标机动适应度 f_5 , 各属性 f_j 之间偏好独立。其中战役类型适应度 f 有 5 个分属性: 轰炸机 f_{41} , 歼击机 f_{42} , 运输机与直升机 f_{43} , 指挥与侦察类飞机 f_{44} 和歼击轰炸机 f_{45} , f_{4k} ($k=1, 2, \dots, 5$) 之间是互斥关系; 目标机动适应度 f_5 分为 3 个分属性: 小机动 f_{51} , 一般机动 f_{52} , 大机动 f_{53} , f_{5k} ($k=1, 2, 3$) 之间也是互斥关系。因为我机都处于静态初始条件下, 所以很难得到 $f_j(x)$ 的基数, 所以这里 $f_j(x)$ 都用序数来表示。

权重系数 $W = [w_1, w_2, \dots, w_5]^T$, 表示各个属性在决策属性表中重要性。由于军事指挥的特殊性与战场环境不确定性, 很难给出具体的确定基数, 所以首先给出 f_j 彼此之间的量化关系, 通过计算得出 W 。

2 引导方法的优先序

优先序的排列是优序法的基础, 通过优先序的排列可以计算优序数。令 x_i 关于属性 f_j 较 x_k ($\forall x_i, x_k \in R, \forall f_j \in F$) 的优序数为

$$\alpha_{ik}^j \triangleq \begin{cases} 1 & (\text{当 } i \neq k, \text{且 } f_j(x_i) > f_j(x_k) \text{ 或 } f_j(x_i) > f_j(x_k)) \\ 0.5 & (\text{当 } i \neq k, \text{且 } f_j(x_i) = f_j(x_k) \text{ 或 } f_j(x_i) \sim f_j(x_k)) \\ 0 & (\text{当 } i = k, \text{或 } i \neq k \text{ 且 } f_j(x_i) < f_j(x_k) \text{ 或 } f_j(x_i) < f_j(x_k)) \end{cases} \quad (1)$$

其中, “>”表示优于, “~”表示无差异于, “≥”表示不劣于。然后得到 x_i 关于全部属性 $F(x)$ 与全体方案 R 相比较所得的优序数 a_i , 据此进行决策。优序数的计算方法参见文献[6]、[7]。

首先对方案集 R 中的引导方法进行分析。直线截击法: 可以使我机在最短时间内接近目标, 遭遇点在保卫的最大可能距离上。追踪法: 简单且容易实现, 但引导轨迹总要绕到目标的后方进入目标, 故不能实现全向攻击。转弯截击法: 不具备全向攻击区的战斗机在与高性能的敌机空战时, 可采用转弯截击法, 但有时该方法会造成引导时间增大, 不能很快地投入攻击。平行接近法: 在引导过程中, 目标线在空间保持平行移动, 可实施全向攻击。比例引导: 是指飞机在接近目标的过程中, 速度矢量的旋转角速度与目标线 LOS 的旋转角速度成一定的比例。基于视线角速率的最优引导控制律: 其性能指标保证了较高的引导精度与较低的能量消耗。增广比例引导法: 考虑目标机动加速度的变化, 以提高跟踪机动目标的能力。

然后根据各引导方法的特点, 经过分析得出其在各属性下的优先序, 按照排序规则将 x_i 排列于单属性排序表。 a_i^j 为 x_i 关于 f_j 与全体方案 R 相比较所得的优序数, 它从左至右分别为 $(n-1), (n-2), \dots, 1, 0$ 的非负整数列。

排序规则: ①以单个属性为准则 f_j , 从左至右逐个排列备选方案于对应属性行中; ②如果有 s ($2 \leq s \leq n$) 个方案的优序相同, 则排在同一个栏目的位置, 随后要空出 $s-1$ 个栏目位置, 如果后面是“≥”关系, 则应把这 $s-1$ 个空出的栏目位置后移, 再继续依序向右排列。排列结果见表 1。

表 1 引导方法单属性排序表

优序数 a_i^j	6	5	4	3	2	1	0	
引导时间 f_1	x_3	x_2	$x_5 x_6$		x_7	x_4	x_1	
截击距离 f_2	x_3	x_2	x_5	x_6	x_7	x_1	x_4	
能量消耗 f_3	x_2	x_3	x_4	x_6	x_5	x_7	x_1	
作战目标类型适应度 f_4	轰炸机 f_{41}	x_3	x_2	x_4	x_5	x_7	x_6	x_1
	歼击机 f_{42}	x_7	x_5	x_6	x_1	x_4	x_2	x_3
	运输机与直升机 f_{43}	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_1
	指挥与侦察类飞机 f_{44}	x_4	x_3	x_2	x_5	x_7	x_6	x_1
	歼击轰炸机 f_{45}	x_7	x_5	x_6	x_2	x_1	x_4	x_3
目标机动适应度 f_5	小机动 f_{51}	x_3	x_4	x_2	x_5	x_6	x_7	x_1
	一般机动 f_{52}	x_7	x_1	x_6	x_5	x_2	x_4	x_3
	大机动 f_{53}	x_7	x_5	x_6	x_2	x_1	x_4	x_3

3 决策模型的建立

3.1 动态权重向量 W 的确定

首先,根据战役目标(或者指挥员决策意志)确定最重要属性 f_j 与具有偏好序的属性集 $F(f_j >) k_j^0 \in (0, 1]$ 。设 f_j 的重要性基数 $k_j = 1$, 根据层次分析法决定其余属性 f_i 的重要性基数与 f_j 的比较, 得出 k_j^0 , 且 $k_j^0 \in (0, 1]$ 。

当 $f_4 = f_{42} f_{45}$ 时, 存在我方飞机与敌机的作战能力对比的问题, 此时需要用局部调整算子对重要性进行改进。局部调整算子: 将我方飞机分为 3 个档次, 用战斗力等级表示: $A_p = \{1, 0.75, 0.5\}$ 。敌方飞机也分为 3 个档次同样用战斗力等级表示: $A_T = \{1, 0.75, 0.5\}$ 。所携带武器种类也分为 3 个档次, 用武器威力等级表示: $A_w = \{1, 2/3, 1/3\}$ 。则我方的综合作战能力为: $A_1 = A_p A_w$ 。敌方的综合作战能力为: $A_2 = A_T A_w$ 。敌我能力对比系数: $N = A_2 / A_1$ 。这样比较的意义在于: 如果敌机总体性能高于我机, 则将属性作战目标适应度的权重系数提高; 反之, 若我机性能高于敌机, 则权重系数可以降低。

将重要性基数重新计算: $k_j = N k_j^0$ 。列写比较判断矩阵式(2)。将比较判断矩阵 B 按列归一化, 即: $(\bar{b}_{ij})_{5 \times 5} = [b_{ij} / \sum_{i=1}^5 b_{ij}]$ 。再按行加总: $\bar{w}_i = \sum_{j=1}^5 \bar{b}_{ij} (i=1, 2, \dots, 5)$ 。最后归一化得到权重系数式(3)。

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{15} \\ b_{21} & b_{32} & \dots & b_{25} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{51} & b_{52} & \dots & b_{55} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & k_1/k_2 & \dots & k_1/k_5 \\ k_2/k_1 & 1 & \dots & k_2/k_5 \\ \vdots & \vdots & k_i/k_j & \vdots \\ k_5/k_1 & k_5/k_2 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$w_i = \bar{w}_i / \sum_{i=1}^5 \bar{w}_i \quad (3)$$

3.2 总优序数的计算

按下述规则读取各方案 x_i 的单属性 $f_j(x_i)$ 对应的优序数 α_i^j :

1) 当 x_i 单独位于第 j 行第 l 列时,

$$\alpha_i^j = (n-1) - (l-1) \quad (4)$$

2) 当有 s 个方案共同排列在第 j 行第 l 列时,

$$\alpha_i^j = (n-1) - 0.5(l-1) \quad (i=1, 2, \dots, s; l=1, 2, \dots, n+1-s) \quad (5)$$

按照以上方法得到优序数矩阵

$$A_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_1^1 & \dots & a_n^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_1^m & \dots & a_n^m \end{bmatrix}$$

求总优序数向量: $A' = [a_1, a_2, \dots, a_n] = W^T A$ 。然后按照 a_i 的值由大到小的顺序将对应的引导方法 x_i 从左至右排列, 得到决策结果。

3.3 算例分析

设敌方来袭飞机为轰炸机, 我方战斗机战斗力等级为一等, 武器装备为二等。机动可能性为小机动。可选择引导方法为文中所列 7 种。决策者将属性重要性定义如下: 截击距离最重要, 引导时间为其 1/2, 能量消耗为其 1/5, 目标类型适应度为其 2/3, 目标机动适应度为其 1/4。据此来对引导方法进行决策。

首先根据各个属性的重要性基数计算出权重系数矩阵:

$$W = [0.191 \ 1 \ 0.382 \ 2 \ 0.076 \ 4 \ 0.254 \ 8 \ 0.095 \ 5]'$$

然后根据表 1 读取优序数矩阵, 计算优序数排列, 得到结果如表 2 所示。

表 2 引导方法决策结果

引导方法	追踪法	平行接近	直线截击	转弯截击	比例引导	视线角速率 最优引导	增广比例 引导
总优序数	0.859 9	4.280 3	5.350 3	1.611 5	4.070 1	2.968 2	2.305 7
排序	7	2	1	6	3	4	5

通过该算例可以得出结论:基于优序法的引导方法决策模型能够有效解决在静态初始条件下引导方法决策问题。

4 结束语

基于优序法的静态初始条件下引导方法决策的基础是单属性排序表,即各个属性的偏好序问题。本文中对引导方法各属性的偏好序只对有限的引导方法的几个重要属性进行了分析。在以后的研究中,还应该考虑更多的引导方法和其更多的属性。

参考文献:

- [1] 吴文海,刁 军,盛 飞,等. 现代战机导引系统及其关键技术[J]. 飞行力学,2004,22(4):1-4.
- [2] 郭鹏飞,任 章. 一种攻击大机动目标的组合导引律[J]. 宇航学报,2005,26(1):104-106.
- [3] Bokyoung Jung, Ki-Seok Kim, Youdan Kim. Guidance Law for Evasive Aircraft Maneuvers Using Artificial Intelligence [A]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit[C]. 2003.
- [4] 李永宾,徐浩翔,李俊涛,等. 基于多 Agent 的指挥引导智能决策模型研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2005,6(2):40-42.
- [5] 岳超源. 决策理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [6] 石 柱,何新贵. 优序法在软件质量评价中的应用[J]. 计算机工程与设计,2002,23(2):45-46.
- [7] 魏世孝,周献中. 多属性决策理论方法及其在 C³I 系统中的应用[M]. 北京:国防工业出版社,1998.

(编辑:姚树峰)

A Guidance Law Decision - making under Condition of Static Initial Condition for Fighters

YU Lei, ZHOU Tao, REN Bo

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: This paper analyzes the characteristics of fighter guidance and gives five attitudes determining its decision - making, i. e. guidance time, distance to enemy fighters, energy, adaptive degree to object type and adaptive degree to object maneuver, then studies priority order, and at last establishes math model of guidance law decision based on optimum order method. The decision model can be use to solve the guidance law decision problem in static initial condition effectively.

Key words: fighter guidance; guidance law; optimum order method; priority order; decision - making