

空战过程中行为决策研究

刘志勤^{1,2}, 张明智¹, 王毅增¹, 聂成¹

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 海军后勤学院, 天津 塘沽 300450)

摘要:歼击机空战过程通常表现为搜索、接敌、攻击和退出战斗等阶段,空战各阶段活动有不同的目的、内容和方法,但其效果都对空战的胜负具有重要影响。作战双方都希望选择一个最合适的时间发射(射击),过早或过晚都对己方不利,先对一对一空战接敌到攻击阶段作出定量与定性分析,再对二对二空战决策模型进行了讨论。

关键词:行为决策;空战;对策

中图分类号:E844 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)03-0027-03

空中交战是由歼敌机的一系列空战构成的,是空中进攻战役中的一种作战方式。在消灭敌航空兵力量、限制敌航空兵活动以及保障我航空兵活动的自由等方面具有重要的作用。因此对歼敌机空战过程中行为决策研究十分重要。

1 模型建立

两架使用中距拦射导弹的歼击机进行一对一空战,其中飞机是由计算机生成的智能数字飞机,其建模主要包括飞机的运动状态(由飞行运动学、空气动力学及轨道力学等有关原理建模)这方面的模型已经确定。其次必须建立飞机的智能决策模型,对专家知识进行控制决策,产生一定的行为。两架歼击机分别用甲、乙表示,甲乙之间的距离为 a ,作一变换 $x = \frac{x}{a}$, $y = \frac{y}{a}$ ($0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq a$,)即相当于作一变换使 $x, y \in [0, 1]$,设甲策略选择在双方距离为 x 时 $0 \leq x \leq 1$ 命中率函数为 $p_1(x)$,它表示当距离为 x 时击中对方的概率,乙的策略是选择一个 y 值,在双方相距 y 时射击, $p_2(y)$ 表示乙机的命中率,则上述对策的支付函数为^[1]

$$p(x, y) = \begin{cases} 1p_1(x) + (-1)[1 - p_1(x)] = 2p_1(x) - 1 & x > y, \\ 1p_1(x)[1 - p_2(x)] + (-1)[1 - p_1(x)]p_2(x) = p_1(x) - p_2(x) & x = y, \\ (-1)p_2(y) + 1[1 - p_2(y)] = 1 - 2p_2(y) & x < y, \end{cases}$$

上式中,甲在双方相距为 x 处射击。 $x > y$,表示甲先射击。 $p_1(x)$ 是乙被击中的概率, $1 - p_1(x)$ 是乙未被击中的概率。因此 $1 \cdot p_1(x)$ 与 $(-1)[1 - p_1(x)]$ 之和是甲在 x 处射击的期望支付。

$x = y$ 是甲和乙同时射击的情形。其中 $1 \cdot p_1(x)[1 - p_2(x)]$ 表示乙被击中而甲未被击中时甲得到的期望支付;另一项 $(-1)[1 - p_1(x)]p_2(x)$ 则是乙未被击中而甲被击中时甲的期望支付。

$x < y$ 是乙先射击的情形。下面来计算 $\max_{0 \leq x \leq 1} \min_{0 \leq y \leq 1} p(x, y)$

由于 p_1, p_2 都是它们各自变量的递减函数,所以当 $x < y$ 时有 $1 - 2p_2(y) > 1 - 2p_2(x)$,因此

$$\begin{aligned} \max_{0 \leq x \leq 1} \min_{0 \leq y \leq 1} p(x, y) &= \\ \max_{0 \leq x \leq 1} \{2p_1(x) - 1, p_1(x) - p_2(x), 1 - 2p_2(x)\} &\text{令} \\ \Phi(x) = \min \{2p_1(x) - 1, p_1(x) - p_2(x), 1 - 2p_2(x)\} &, \end{aligned}$$

并将 $0 \leq x \leq 1$ 分为三个区间如下

收稿日期:2002-01-10

基金项目:国家自然科学基金(19971068)

作者简介:刘志勤(1963-),男,陕西风翔人,副教授,博士生,主要从事军事运筹学与应用数学研究。

$A = \{x | p_1(x) + p_2(x) \geq 1\}$, $B = \{x | p_1(x) + p_2(x) = 1\}$, $C = \{x | p_1(x) + p_2(x) \leq 1\}$. 则

$$\max_{0 \leq x \leq 1} \min_{0 \leq y \leq 1} p(x, y) = \max_{0 \leq x \leq 1} \Phi(x) = \max \{ \max_{x \in A} \Phi(x), \max_{x \in B} \Phi(x), \max_{x \in C} \Phi(x) \}$$

设 $p_1(x^*) + p_2(x^*) = 1$ 则有 $A = [0 \quad x^*]$, $B = \{x^*\}$, $C = [x^* \quad 1]$

$\max_{x \in A} \Phi(x) = \max_{x \in B} \Phi(x) = \max_{x \in C} \Phi(x) = p_1(x^*) + p_2(x^*)$ 因此 $\max_{0 \leq x \leq 1} \min_{0 \leq y \leq 1} p(x, y) = p_1(x^*) + p_2(x^*)$ 类似可

证 $\min_{0 \leq y \leq 1} \max_{0 \leq x \leq 1} p(x, y) = p_1(y^*) + p_2(y^*)$, 其中 y^* 满足 $p_1(y^*) + p_2(y^*) = 1$ 由此可见, 对策有一纯策略点 (x^*, y^*) , $x^* = y^*$ 满足方程, $p_1(x^*) + p_2(x^*) = 1$ 也就是说两架歼击机应在相距 x^* 时射击, 对策的值是 $v = p_1(x^*) + p_2(x^*)$

2 模型分析

如甲、乙两机性能相同, 机载武器系统相同即 $p_1(x) = p_2(x)$, 从 $p_1(x^*) + p_2(x^*) = 1$ 中得到 $x = x^*$ 即两架歼击机在相距 x^* 时同时射击, 两机被击落的可能性相同。

如甲机性能和机载武器系统优良, 即 $p_1(x) \geq p_2(x)$, 两歼击机在相距 x^* 时同时射击乙被击落可能性大。如乙机性能和机载武器系统优良, 即 $p_1(x) \leq p_2(x)$, 两歼击机在相距 x^* 时同时射击甲被击落可能性大。

如甲机性能和机载武器系统比乙差, 甲机如果应用先进的战术, 也可能以弱胜强。可以利用自然条件掩护, 从乙机载雷达, 告警设备探测弱区、盲区和目视死角方向进入, 应用佯动战术造成乙机错觉, 发现敌机后迅速果断地行动, 在未被敌机发现的情况下, 在相距 x^* 处射击, 则可击落乙机。

3 二对二空战模型的设计

前面仅对歼击机一对一空战作了研究分析, 但在实战中往往为编队或机群, 编队进行空战, 既具有进攻能力, 又具有防御能力, 既能发挥单机性能, 又能形成群体作战能力。因此现代条件下, 歼击机空战多采用双机或四机为基本战斗单位。任务需要时可组织多个双机或四机形成编队或机群。如下对二对二空战模型进行研究^[2]

4 二对二空战决策模型的实现

以下针对编队空战的特点, 对人的行为建模采用专家系统。专家系统的核心是知识库和推理机, 知识库中的知识是某型领域的专家关于此领域的经验和事实。系统中的知识库是由规则库和动作库组成。规则库存放所有战术决策规则, 根据飞行员的空中作战经验总结提炼而成。二对二空战总的原则是长机负责搜索、警戒、前上方空域, 僚机负责后、下方空域。通常一机进入攻击, 另一机在后上方占高位掩护; 也可以两机同时攻击两个目标。在空战中, 僚机必须服从长机的命令, 不能擅自采取行动。因此在规则库里可以只存放长机的决策规则。由长机根据敌我双方当前态势和周围的环境信息进行推理, 得出结论, 即要采取的动作, 而僚机则根据长机的决策结论来行动, 如下为二对二空战决策过程示意图如图 1 所示^[3]。动作的具体执行则由动作库给出, 长机直接根据决策结果在动作库中搜索到相应的动作号, 进而由执行模块完成各个动作。僚机则根据长机决策结论的不同而采取不同的方案。除一些特殊的动作外, 僚机不必由自己的执行模块来解算每一时的位置和姿态, 可以直接根据长机每一时的态势来计算一个相对位置即可。专家系统中的推理表现为由当前空战情况得出控制参数既决策过程, 对于此系统实体的智能决策, 必须考虑实时性和动态性。所谓实时性指推理过程有严格的时间限制, 同时也要考虑推理的时机, 因此设计一个实时监控模型。整个过程如图 2 所示^[4]。

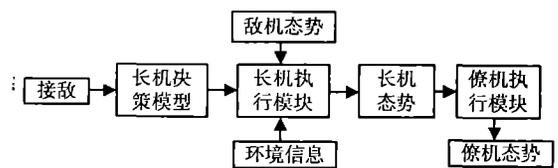


图 1 二对二空战决策过程示意图

5 系统仿真结果

本文探讨了空战过程中人的行为决策模型的方法,并在计算机上模拟两架使用中距拦射导弹的歼击机进行一对一空战既敌我双方双机对抗。在双方性能相同的情况下,获得有利战术态势一方的生存率比对手要高得多,即使一方飞机性能略逊于对方,也可以获得比对手更高的生存率,由此可见,有利的战术态势对飞机的性能确有增强或补偿作用。

空战过程是一个涉及多种影响因素的综合性复杂系统。只有建立了空战模型,计算出了何时射击,通过实时监控,给出准确的决策,才能比较准确的击落对方,使自己保持有利的战斗态势。

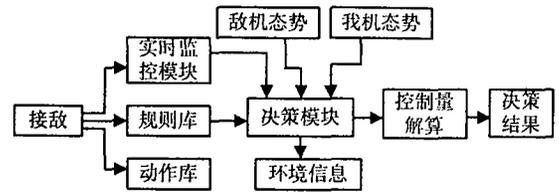


图2 实时监控模块

参考文献:

- [1] 马振华. 现代应用数学手册 运筹学与最优化理论卷[M]. 北京:清华大学出版社. 1998.
- [2] 王江云. 空战仿真系统中行为决策模型的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(2): 136 - 138.
- [3] Seth Bonder. Mathematical modeling of military conflict situations [J]. Operations Research Mathematics and Models 1981, 25(2): 37 - 45.
- [4] 万少松, 刘兴堂, 严 聪. 双机空战效能评估的半实物仿真研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版) 2000, 1(4): 83 - 86.

(编辑:田新华)

Research on Behavior Decision Model in Air Battle Process

LIU Zhi - qin ^{1,2}, ZHANG Ming - zhi ¹, WANG Yi - zeng¹, NIE Cheng ¹

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China; 2. Navy Logistitute College, 300450 Tanggu, Tianjin, China)

Abstract: The air battle process of fighter planes appears as four moments: search, approach, attack and withdraw. Each stage activity of air battle contains different purposes, contents and methods, but each result has the important influence on air battle. Both sides in the battle all hope to choose the most appropriate opportune moment to blast off, any too early or unduly late blast - off is disadvantageous to one's own side. In this paper the quantitative and qualitative analyses about the stage from approach to attack in one to one air battle are done first and the air battle decision model of two to two is discussed then.

Key Words: behavior decision model; air battle; counterplan