

文章编号:1002-0640(2012)04-0070-03

定量的近距空战训练对抗态势分析方法*

丛 伟¹, 景 博¹, 黄 雷¹, 甘旭升²

(1. 空军工程大学工程学院, 西安 710038, 2. 西京学院, 西安 710123)

摘 要:针对近距对抗态势分析不能量化的不足,提出一种定量的近距空战训练对抗态势分析方法。该方法以对抗过程中双方的位置关系为基础,结合近距空空导弹的攻击包线,建立位置优势函数和武器优势函数,通过两类函数的线性组合构造对抗态势函数,实现了空战训练对抗态势的定量描述。通过算例验证了该方法的合理性和有效性。

关键词:近距空战训练, 对抗态势, 定量分析

中图分类号:V274.1

文献标识码:A

Quantitative Engagement Situation Analysis Method in Close Air Combat Training

CONG Wei¹, JING Bo¹, HUANG Lei¹, GAN Xu-sheng²

(1. Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China, 2. Xijing College, Xi'an 710123, China)

Abstract: For the disadvantages of engagement situation analysis in close air combat, a new quantitative method for engagement situation analysis in close air combat training is proposed. Based on the relative position between attacker and target, this method constructs the superiority functions of position and weapon during the engagement and weapon envelope of close air-to-air missile. The quantification of position superiority and weapon superiority is presented. Then engagement situation function is determined by lineally combining the two functions of position and weapon. So the quantitative description of engagement situation in close air combat training is obtained. The rationality and effectiveness are verified by an application example.

Key words: close air combat training, engagement situation, quantitative analysis

引 言

目前,空战训练是航空兵部队的主要组训模式,是提高飞行员实战认知能力和技战术水平的重要途径。对抗态势分析是空战训练的一个重要环节,将空战过程中双方的攻防占位、武器选择、发射时机等因素进行综合分析,飞行员可以清晰把握对抗态势的优劣,调整战术和攻防策略,有效促进平台控制能力和武器运用能力的提高。

研究表明^[1-4],在空战训练中,占位、武器射程、

发射时机均对空战结果产生举足轻重的影响,在此基础上产生了若干对抗态势分析方法。其中,交战几何法^[5]尝试用角度、速度和距离函数,以及从优势区/逃避区/均势区的平面区域划分图等方面分析对抗态势,但其无法给出态势的量化表示。位置优势法^[2-4]只给出了对抗双方占位关系的定性描述,未建立态势与占位间的定量关系。数值优化法^[6]虽然标题中含有“数值”,但也未给出对抗态势的定量描述。目前,对抗态势的定量描述尚未得到有效解决。

基于此,本文提出一种近距空战训练对抗态势分析的定量方法,通过引入位置优势函数和武器优势函数,量化了位置优势和武器优势,并确定了对抗态势与位置和武器之间的量化关系。算例验证了方法的合理性和有效性。

1 对抗双方的位置关系表述

在近距空战中^[7],主要使用近距空空导弹对目

收稿日期:2011-02-11

修回日期:2011-04-13

* 基金项目:国家自然科学基金(10971164);总装预研基金(9140A17020307JB3201);空军工程大学优秀博士学位论文创新基金资助项目(BC07003)

作者简介:丛 伟(1973-),女,辽宁铁岭人,博士研究生,研究方向:检测技术与自动化装置。

标实施打击,近距导弹需要在一定的角度下才能发射,而且双方的相对位置变化也很大。因此,位置关系在近距对抗态势评估中尤为重要,位置优势越大对攻击机越有利,击中对方的概率就越大。

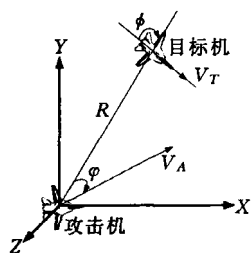


图 1 对抗双方的位置关系分析

对抗双方位置关系的表述^[7]如图 1 所示。

在图 1 中, V_A 为攻击机的速度矢量, V_T 为目标机的速度矢量, φ 为瞄准线角, ϕ 为目标进入角, R 为攻击机和目标机之间的距离矢量, xyz 为攻击机 A 的机体坐标系。规定: φ 和 ϕ 的取值范围为 $0 \sim 180^\circ$, φ 和 ϕ 顺时针方向为正。

从图 1 可以看出, φ 的计算方法如式(1):

$$\begin{aligned} \bar{R} \cdot \bar{V}_A &= R \cdot V_A \cos \varphi \\ \varphi &= \arccos \left[\frac{\bar{R} \cdot \bar{V}_A}{R \cdot V_A} \right] = \\ &= \arccos \left[\frac{R_x V_{Ax} + R_y V_{Ay} + R_z V_{Az}}{R \cdot V_A} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

在式(1)中, R_x, R_y, R_z 和 V_{Ax}, V_{Ay}, V_{Az} 分别为距离向量 R 和速度矢量 V_A 在攻击机机体坐标系的 xyz 三轴的投影。由于, ϕ, R 由攻击机的火控雷达直接测量得到, V_A 由攻击机的机载惯导系统直接测量得到, 瞄准线角 φ 可解。

2 对抗态势定量分析函数

对抗态势定量分析函数由位置优势函数 T_a 和武器优势函数 T_w 经加权归一化处理后得到(为便于研究而简化)。

2.1 位置优势函数

位置优势函数 T_a 用瞄准线角 φ 和目标进入角 ϕ 为参数构造, 量化对抗双方的占位优势, 如式(2)。

$$T_a = \frac{180 - (\varphi + \phi)}{180} \quad (2)$$

在实际的近距空战中, 对抗双方典型的占位关系^[5]对应的 φ 和 ϕ 值, 以及由式(2)计算得到的 T_a 值如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 式(2)将对抗双方的占位关系量化成 $-1.00 \sim +1.00$ 间的连续变化值。攻击机处于占位优势(Case 1~Case 3), T_a 为正值; 攻击机处于占位劣势时(Case 6~Case 8), T_a 为负值。攻击机和目标机同处于中立位置时(Case 4 和 Case 5), T_a 为零值。其中: Case 1 和 Case 8 为尾追攻击方式, 命中目标的概率最大, $|T_a| = 1.00$; Case 4 和 Case 5 为迎头攻击, 命中目标的概率几乎为零; Case 2、Case 3、Case 6 和 Case 7 为侧向攻击方式, 命中概率

随着角度优势的变化而不同。

表 1 近距空战中对抗双方的典型占位关系

Case	攻击机	目标机	φ	ϕ	T_a
1			0	0	1.00
2			0	45	0.75
3			0	90	0.5
4			0	180	0
5			45	135	0
6			90	180	-0.5
7			135	180	-0.75
8			180	180	-1.00

2.2 武器优势函数

尽管位置优势函数

T_a 反映了攻击机和目标机间的相对占位优劣, 但是, T_a 并不能完全反映近距空战的对抗态势, 如图 2 对抗双方的武器射程关系

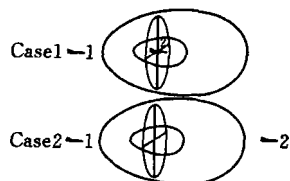


图 2 对抗双方的武器射程关系

在图 2 中, 尽管 Case 1 和 Case 2 的 $T_a = 1.00$, 但是, 从战术意义上说, 这两种情况完全不同。在 Case 1 中, 飞机 2 处于飞机 1 的武器攻击包线中心, 处于飞机 1 导弹发射的最佳射程内。在 Case 2 中, 飞机 1 处于较好的战术位置, 但是, 飞机 2 却处于武器攻击包线外, 不满足武器发射条件。由于武器射程的重要性, 本文方法中引入武器优势函数 T_w 。

计算 T_w 时, 先要建立机载武器攻击包线索引表, 包括最大攻击距离 R_{max} 、最佳攻击距离(不可逃逸区) R_{opt} 和最小攻击距离 R_{min} 。用攻击方的 φ 值查找索引表, 确定 R_{min} 、 R_{opt} 和 R_{max} 值。

①当距离 $R < R_{min}$ 或 $R > R_{max}$ 时, 目标机处于攻击机武器攻击距离外, 此时 T_w 如式(3)。

$$T_w = 0, R < R_{min} \text{ 或 } R > R_{max} \quad (3)$$

②当距离 $R_{min} \leq R \leq R_{max}$ 时, 目标机处于攻击机武器攻击距离内, 先计算 R 与 R_{opt} 的偏差距离, 再转换成偏差角, 归一化处理后得到 T_w 值, 如式(4)。

$$\theta = \begin{cases} \pi \left(\frac{R_{opt} - R}{R_{opt} - R_{min}} \right), & R_{min} \leq R \leq R_{opt} \\ \pi \left(\frac{R - R_{opt}}{R_{max} - R_{opt}} \right), & R_{opt} \leq R \leq R_{max} \end{cases}$$

$$T_w = \frac{\cos(\theta) + 1}{2} \quad (4)$$

③当攻击机被对方攻击时, $T_w = -1$ 。

从式(3)和式(4)可以看出, T_w 的范围在 $-1 \sim 1$ 之间, $T_w = -1$ 表示攻击机被攻击, $T_w = 1$ 表示目标机处于攻击机 R_{opt} 距离, 其他值表示目标机与 R_{opt} 的偏差值, 偏差值越小, 武器优势越大。

2.3 对抗态势函数

将 T_a 和 T_w 线性组合后得到对抗态势函数 T_{MI} , 如式(5)。

$$T_{MI} = SF(\alpha T_a + \beta T_w) \quad (5)$$

在式(5)中, α 和 β 分别为 T_a 和 T_w 的权重值, 取 $\alpha = \beta = 1$, $SF = 50$, $-100 \leq T_{MI} \leq 100$, 用 T_{MI} 的连续变化反应攻击机和目标机的相对态势的优劣。 $T_{MI} = 100$ 表示攻击机处于绝对优势, $T_{MI} = -100$ 表示攻击机处于绝对劣势。

3 算例分析

在两架某型战斗机装备某型近距离空导弹的模拟对抗中, 设 $R_{min} = 2$ km、 $R_{opt} = 6$ km 和 $R_{max} = 10$ km, $0 \leq \varphi \leq 180^\circ$, $0 \leq \phi \leq 180^\circ$, 取 $\alpha = \beta = 1$ 。态势优势与目标进入角、瞄准线角和武器射程的关系分别如图 3~图 5 所示。

从图 3 可以看出, 目标进入角不同, 相同的瞄准线角对应不同的对抗态势, 目标进入角越小, 对抗态势优势值越大, 相反, 目标进入角越大, 对抗态势优势值越小, 这与实际空战的对抗态势情况相符, 例如: 尾后攻击时, 目标进入角 $\varphi = 0^\circ$, 而迎头攻击时, 目标进入角 $\varphi = 180^\circ$, 尾后攻击的优势明显高于迎头攻击。从图 4 可以看出, 瞄准线角不同, 相同的目标进入角对应不同的对抗态势。图 5 反映了在武器的 R_{opt} 距离即不可逃逸区内, 对抗态势优势最大。图 3~图 5 充分反映了近距空战训练对抗态势的基本特征。

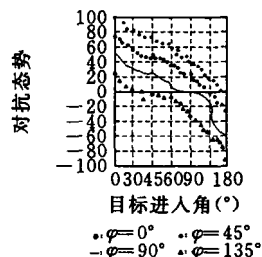


图 3 对抗态势与目标进入角的关系

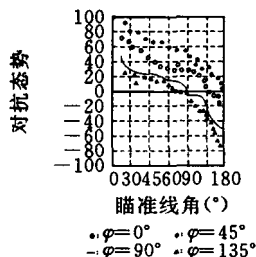


图 4 对抗态势与瞄准线角的关系

通过算例分析可得到如下结论:

(1)文中方法对位置优势和武器优势的分析,符

合近距空战训练的对抗态势变化规律, 计算简便, 便于在计算能力不太强的系统中实现;

(2)文中方法的定量结果, 可帮助飞行员正确把握攻击时机、合理选择攻防战术, 提高飞行员的技战术水平。

算例分析表明: 定量对抗态势分析方法用在航空兵部队日常的近距空战训练中是有效的。

4 结束语

针对近距对抗态势分析不能量化的不足, 提出近距空战训练对抗态势分析的定量方法, 确定了对抗态势与位置和武器之间的定量关系。该方法从对抗双方的位置关系出发, 结合近距空空导弹的攻击包线, 以位置因子(瞄准线角、目标进入角、目标距离)和武器因子(武器攻击包线)两类参数作为主要研究对象, 分别建立了位置优势函数和武器优势函数, 量化了位置优势和武器优势, 然后把两类函数线性组合成对抗态势函数, 给出对抗态势优劣的定量描述。本文分析结果可推广到多机对多机对抗的简单态势分析, 影响对抗态势的其他因素, 如武器性能、攻击机与目标的数量和型别等因素对态势分析的影响有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] LT Gerald R S. Performanc Measurement and the Nave's Tactical Aircrew Training System(TACTS) [R]. ADA110669, 1981, 9(3), 16-18.
- [2] Breidenbach S T, Ciavarelli A P, Sievers R. Measurement Methods and Metrics for Aircrew Assessment During Close-In-Air-To-Air[R]. AD-A168066, 1986.
- [3] LeeWooldridge, Richard W O, William H N. Air Combat Maneuvering Performance Measurement State Space Analysys[R]. AD-A121901, 1982.
- [4] Wayne L W. Development of a Composite Measure for Predicting Engagement Outcome During Air Combat Maneuvering[R]. AD-A252344, 1982.
- [5] Joseph A K, Blacksburg, Virginia. The Analysis of a Generic Air-to-Air Missile Simulation Model[R]. AD-A, 2003.
- [6] Huynh H T. Numerical Optimization of Air Combat Maneuvers [R]. AIAA Paper 8722392, 1987, 30: 234-240.
- [7] 肖冰松. 一种新的超视距空战威胁评估方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2009, 26(9): 2163-2166.

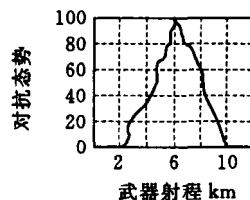


图 5 对抗态势与武器射程的关系