

文章编号: 1671-637X(2008)07-0030-04

电子对抗环境下的多机协同空战态势评估方法

刘 栋¹, 谷志勇², 任 波¹, 张 斌¹

(1. 空军工程大学工程学院, 西安 710038; 2. 空军军训器材研究所, 北京 100097)

摘 要: 针对电子对抗复杂作战环境提出一种新的多机协同空战态势评估模型。首先分析了电子干扰环境对空战态势数据的影响, 提出了综合敌我双方空战态势的参数转换和判断方法, 并建立了空战能力指数威胁函数和空战威胁因子函数, 然后在此基础上建立总的态势评估函数, 最后通过实例进行仿真, 仿真结果表明了该方法的实用性和有效性。

关 键 词: 多机协同; 空战; 态势评估; 评估参数; 电子对抗

中图分类号: V247

文献标识码: A

Situation assessment of multi-aircraft cooperative air combat in electronic countermeasure environment

LIU Dong¹, GU Zhi-yong², REN Bo¹, ZHANG Bin¹

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Air Force Institute of Training Equipment, Beijing 100097, China)

Abstract: A new situation assessment model is presented for multi-fighter cooperative combat in the complex electronic countermeasure circumstance. The effect of electronic interferences on the air combat situation parameters is analyzed. A method is put forward for transforming and judging the air combat situation parameters of both sides. An index threat function of air combat's capability and an air combat threat gene function are also established, based on which the whole situation assessment function is established. Simulations are carried out, and the result showed the practicability and effectiveness of the method.

Key words: multi-fighter cooperation; air combat; situation assessment; assessment parameters; electronic countermeasure

0 引言

随着信息技术的迅速发展和新军事变革的需要, 现代空战已成为多机种、多机群组成的航空综合体系之间的对抗, 空战环境也变得异常复杂, 充满光、电、磁等人为或环境因素的干扰, 作战决策过程中需要处理的态势信息量大大增加, 如何在这样复杂的环境中对敌我态势进行快速有效的评估已成为

亟需解决的问题。本文分析了电子干扰对空战态势的影响, 并在此基础上对多机协同作战的态势评估问题进行了研究。

1 多机协同下的空战态势评估参数

空战区域内的资源信息是确定态势评估的前提^[1], 准确的资源信息是判断来袭敌方目标的类型(包括飞机和武器类型)、数量和意图等目标信息的重要依据。然后根据对方信息分析我方截击所需的类型、数量及携带的武器的性能; 最后对敌我双方所有参战元素进行对抗分析, 算出诸元素真实的作战能力, 并判断作战区域内气象及地形条件对双方的参战诸元素的影响。

1.1 空战态势参数的换算方式

获得准确的敌方战前信息是态势评估的关键,

收稿日期: 2007-04-26

修回日期: 2008-04-03

基金项目: 军队重点科研项目基金(KJ06085); 空军工程大学工程学院优秀博士学位论文创新基金资助(BC06003)

作者简介: 刘 栋(1978-), 男, 山东滕州人, 硕士生, 研究方向为航空武器系统总体、仿真与控制。

主要是敌主战飞机的类型、型号、目的,及在即将作战区域有无预警机、干扰机等远程支援^[2-3]。如敌有预警机和干扰机的远程支援,那么就必须将其能力换算到态势评估中去,换算有两种:一是提升本机的空战能力;二是降低对方的空战能力。敌方目的不同可以预测到敌所携带的武器。其次是环境对双方战机及武器的影响,不同的环境对不同机载设备和武器的影响是不一样的,应该把其影响也换算到实战评估中去。

1.2 换算原理及公式

预警机、干扰机、环境等对交战双方的影响主要体现在探测能力、生存能力、航程能力、电子对抗、火力能力及所获的角度优势等方面^[4-5],充分利用这些电子支援机对手进行最大限度的压制,降低对手的探测能力、通讯能力和武器攻击能力,可实现先视先射。不同的环境对不同武器类型的影响不同,干扰的大小可根据武器的类型及作战区域的环境来取影响系数(将所有的导弹按照环境等级的影响一致列出)。因此在这里只考虑电子支援机对敌我的探测能力、火力能力和通讯能力3个方面进行计算研究。被干扰总是接收信号而非发射信号^[6]。干扰就是向接收机发射干扰信号,以干扰有用信号的接收和处理。在这里只考虑电子支援机对态势评估参数的影响。首先计算出通信在干扰时的通信距离公式为^[6]

$$20\lg(d_s) = J/S - ERP_J + ERP_s + 20\lg(d_j) - G_{RJ} + G_{RS} \quad (1)$$

$$d_s = \text{antilog}\{20\lg(d_s)/20\} \quad (2)$$

式中: J/S 为火力参数的干扰信号比; ERP_J 为火力参数干扰机有效辐射功率; ERP_s 为有用信号发射机有效辐射功率; G_{RJ} 为干扰机方向上的接收天线增益; G_{RS} 为有用信号发射及方向上的天线增益; d_s 为有用信号发射机至接收机的距离; d_j 为干扰机至接收机的距离。设 $J/S = 10$ 时可以认为已经达到起干扰效果。

其次计算出雷达在干扰时的探测距离公式为^[6]

$$40\lg(R_T) = J/S - ERP_J + P_T - 71 + 20\lg(R_J) + 10\lg(\sigma) - G_s + 2G_M \quad (3)$$

$$R_T = \text{antilog}\{40\lg(R_T)/40\} \quad (4)$$

式中: J/S 为干扰信号比; ERP_J 为干扰机有效辐射功率; P_T 为发射机功率; G_M 为雷达天线主瓣增益; G_s 为雷达天线旁瓣增益; R_T 为雷达到目标的距离; R_J 为干扰机到雷达的距离。设 $J/S = 10$, 发现概率大于0.9时可以认为已经达到起干扰效果^[7]

1.3 评估参数的判断

在空中由于电子干扰的缘故,态势评估的很多参数发生了变化,其中有敌我双方的发现距离即探测距离、通信距离(主要是数据链的通信距离)、中远程空空导弹的攻击距离等,所以必须进行态势参数的判断。判断方法如下:1) 实际探测距离的判断: $(R_T - L_i) \geq R_i$ 且 L_i 在通信距离以内,那么飞机实际探测距离 R_i 为 $R_T - L_i$, 否则发现距离为 R_i 。式中: R_T 为预警机的探测距离; R_i 为机载雷达的探测距离; L_i 为预警机到飞机 i 的距离。2) 武器实际攻击距离的判断: 当 $W_i \geq R_i$ 且 R_i 小于通信距离 L_i 时,导弹的实际攻击距离 W_i 为 R_i , 否则攻击距离为 W_i 。式中: W_i 为导弹的实际攻击距离; R_i 为机载雷达的实际探测距离; W_i 为导弹的攻击距离。3) 角度优势的判断: 当敌方在我雷达探测距离及导弹射程之内且敌方尚未发现我方时,我方将获得绝对角度优势; 当敌方在我雷达探测距离之内且敌方尚未发现我方时,我方将获得较好的角度优势; 当敌我双方均在对方的雷达范围之内时,角度优势可以看作是平等的,否则我方将处于角度的劣势。

2 空战态势评估的数学模型

传统的态势评估模式一般只对作战空域范围内的敌我双方飞机的固有性能参数作为评估基础,由角度优势、距离优势和能量优势组成的优势态势矩阵函数^[2],空战威胁因子函数态势评估^[8]等。下面以传统的态势评估模式为基础,对其进行改进,组成在电子对抗下的空战态势威胁模型。

2.1 空战能力指数威胁函数

对飞机空战能力评估的方法很多,这里采用简便易行的空战能力指数方法。一种作战飞机或机载武器系统从研制到投入使用以及改型升级是一个漫长的过程,在某一战役的特定时间段内,双方的武器装备水平可以看作是“静止”的,因此这种空战能力评估便是可行的。选取影响空战的7个主要因素,这7个主要因素是:机动性、火力、探测目标能力、操纵效能、生存力、航程和电子对抗能力^[9]。用公式表示为

$$C = [\ln B + \ln(\sum A_1' + 1) + \ln(\sum A_2')] \epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon_3 \epsilon_4 \quad (5)$$

式中的参数均是在电子对抗换算判断后的参数,其中: B 为机动性参数; A_1' 为火力参数; A_2' 为探测能力参数; ϵ_1 是操纵效能系数; ϵ_2 是生存力系数; ϵ_3 是航程系数; ϵ_4 是电子对抗能力系数。根据公式(5)

可计算出敌我双方各种类型飞机的空战能力指数,并由数据通讯系统传递给我机。

空战能力指数威胁函数是由对方飞机的空战能力指数和我方飞机的空战能力指数之比组成的,公式表示为

$$M=C_B/C_A \tag{6}$$

式中: M 为空战能力威胁值,当 $M<1$ 时我方威胁敌方(即我方飞机的空战能力指数大于敌方);当 $M>1$ 时敌方威胁我方;当 $M=1$ 时敌我双方的威胁均等; C_A 为我方(即红机)某飞机的空战能力指数, C_B 为敌方(即蓝机)某飞机的空战能力指数。

2.2 空战威胁因子函数

威胁因子法^[8],考虑了双方的速度及导弹的攻击距离,双方速度矢量的方向(角度),双方的相对距离和双方飞机的速度。如图 1 所示, v_R 为红机的速度矢量, v_B 为目标机的速度矢量, q_r 为目标前置角, q_b 为目标航向与目标线夹角(右偏为正)。

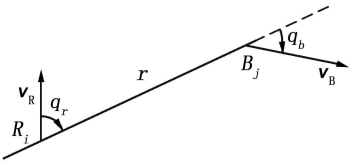


图 1 红蓝两机空战态势图

分别定义角度威胁因子 S_a 、距离威胁因子 S_r 和速度威胁因子 S_v 如下^[8]:

$$S_a=(|q_b|+|q_r|)/360^\circ \tag{7}$$

$$S_r=\begin{cases} 0.5, & r\leq r_R, r\leq r_B \\ 0.5-0.2(\frac{r-r_B}{r_R-r_B}), & r_B<r<r_R \\ 1.0, & r_B>r>r_R \\ 0.8, & \max(r_R, r_B)<r<rr \end{cases} \tag{8}$$

$$S_v=\begin{cases} 0.1, & v_B<0.6v_R \\ -0.5+v_B/v_R, & 0.6v_R\leq v_B\leq 1.5v_R \\ 1.0, & v_B>1.5v_R \end{cases} \tag{9}$$

$$T_{ij}=a_1S_a+a_2S_r+a_3S_v \tag{10}$$

式中的约束参数均是在电子对抗换算判断后的参数,其中 r 为红、蓝双方飞机之间的距离, r_B 为蓝机所携带导弹的攻击距离, r_R 为红机导弹最大射程, rr 为红机雷达的最大探测距离。当 (S_a, S_r, S_v, T_{ji}) 均等于 0.5 时敌我双方的威胁均等;当 (S_a, S_r, S_v, T_{ji}) 均小于 0.5 时我方威胁敌方;当 (S_a, S_r, S_v, T_{ji}) 均大于 0.5 时敌方威胁我方。 a_1, a_2, a_3 为非负加权系数且 $a_1+a_2+a_3=1$ 。 T_{ji} 为总的空战威胁因子函数。

2.3 总的态势威胁评估函数

综合空战能力指数威胁函数和空战威胁因子函数,得到总的空战态势威胁评估函数为^[4,10]

$$X=b_1T+b_2M \tag{11}$$

式中: X 为总的态势威胁函数; b_1, b_2 为系数且 $b_1+b_2=1$,当 $1>X>0.6$ 时我机处于劣势(即敌方威胁我方), $X=1$ 时劣势最大; $X=0.6$ 时敌我处于均势; $0<X<0.6$ 时我机处于优势, $X=0$ 我机完全处于优势。 0.6 是均等值,取值算法为 $0.8\times 0.5+0.2\times 1=0.6$ (空战威胁因子函数为 0.5 时,敌我双方的威胁均等,空战能力指数威胁函数为 1 时,敌我双方的空战能力均等)。

3 实例比较与分析

假设获得战前信息:参战区域为平原地区,气候为一般性气候,敌方 2 架 B 型和 2 架 C 型战斗机,各带 2 枚某型远程空空导弹(射程为 100 km)和一架预警机(无干扰探测距离 450 km)。我方为 2 架 A 型截击机,各带 4 枚某型中程空空导弹(射程为 80 km)和一架预警机(无干扰探测距离 440 km)、一架干扰机(可干扰距离为 500 km)。参战的飞机 A1、A2、B1、B2、C3、C4 均具有多目标攻击能力;蓝机的机型为 F-16D、F-15E。红机的速度 $V_R=320$ m/s,雷达最大跟踪距离 $R_i=120$ km。蓝机雷达最大跟踪距离 F-15E 为 140 km、F-16D 为 130 km。双方的作战原则:当乙方进入甲方的导弹射程内且甲方未进入乙方的导弹射程内,甲方必须发射导弹,反之乙方必须发射导弹。具体敌我态势如图 2 所示。

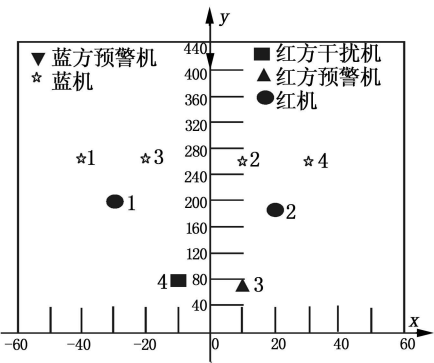


图 2 敌我态势

红方机群坐标为 A1(-30, 200)、A2(20, 195)、预警机(10, 60)、干扰机(-10, 80)。蓝方机群坐标为 B2(10, 273)、C4(30, 273)、B1(-40, 278.4)、C3(-20, 278.4)、预警机(0, 400)。取一些经典的参数,经公式(1)~(4)可计算出电子对抗条件下的空

战评估参数见下文。

蓝方预警探测、通信距离均为 135 km, 战斗机机载探测距离与导弹的发射距离均等(导弹的发射距离以机载探测距离为前提), 分别取值为(是经评估参数判断后的值): $B2=73\text{ km}$ 、 $C3=74\text{ km}$ 、 $C4=75\text{ km}$ 、 $B1=76\text{ km}$ 。由于蓝方无干扰机, 红方的预警、通信距离均为 440 km, 战斗机机载探测距离 $A1$ 为 290 km、 $B2$ 为 325 km, 导弹的实际攻击距离均为 80 km, 其具体参数见表 1。

表 1 电子对抗下的空战态势参数

我机	目标	目标机	参数			
			$q_b/(^{\circ})$	$q_r/(^{\circ})$	r_i/km	$v_i/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
A1	B1	F-16D	-155	25	79	320
A1	B2	F-16D	155	-45	83.3	310
A1	C1	F-15E	135	-25	79	325
A1	C2	F-15E	115	-70	94.5	315
A2	B1	F-16D	-125	65	102.8	320
A2	B2	F-16D	-155	25	78.6	310
A2	C1	F-15E	135	40	92.5	325
A2	C2	F-15E	155	-25	78.5	315

将表 1 中在电子对抗下的空战态势参数代入态势评估的数学模型, 并取权系数^[10] $a_1=0.3$ 、 $a_2=0.4$ 、 $a_3=0.3$; $b_1=0.8$ 、 $b_2=0.2$, 计算得到空战综合态势评估和威胁评估结果如表 2 所示。

表 2 空战综合态势评估和威胁评估结果

我机	目标	评估结果					
		S_a	S_r	S_e	T	M	X
A1	B1	0.500	0.350	0.500	0.440	0.978	0.548
A1	B2	0.556	0.800	0.469	0.627	0.973	0.697
A1	C1	0.500	0.333	0.516	0.437	1.102	0.570
A1	C2	0.514	0.800	0.484	0.619	1.104	0.716
A2	B1	0.528	0.800	0.500	0.628	0.988	0.700
A2	B2	0.500	0.340	0.469	0.427	0.981	0.538
A2	C1	0.487	0.800	0.516	0.621	1.111	0.719
A2	C2	0.500	0.356	0.484	0.437	1.114	0.578

在此例中如果用传统的评估参数计算可能结果大有不同, 再如根据作战原则蓝方会在距红方 100~80 km 处首先发射导弹计算结果也会不同, 3 种综合态势评估数据如表 3 所示。(传统态势 2 为蓝方在 100~80 km 处发射导弹时的态势评估)。

表 3 空战态势评估结果

我机	目标	空战态势	传统态势 1	传统态势 2
A1	B1	0.548	0.630	0.790
A1	B2	0.697	0.626	0.786
A1	C1	0.570	0.654	0.814
A1	C2	0.716	0.657	0.817
A2	B1	0.700	0.634	0.794
A2	B2	0.538	0.620	0.780
A2	C1	0.719	0.661	0.821
A2	C2	0.578	0.656	0.816

3 种取值算法的空战态势目标威胁排序结果分别为(4, 2, 3, 1; 3, 1, 4, 2)、(4, 3, 1, 2; 3, 4, 1, 2)和(4, 3, 1, 2; 3, 4, 1, 2)。

从多机协同空战态势结果可以看出, 在红方有优势时, 其攻击的对象是 $A1$ 对 $B1$ 和 $C3$, $A2$ 对 $B2$ 和 $C4$; 而在两种传统态势评估中, 红方受到的威胁都很大, 没有优势, 两种目标威胁排序也一样, 而蓝方距红方越远(80~100 km 之内), 红方的威胁就越大。从传统的态势评估来看红方无法和蓝方对抗, 而在电子对抗多机协同空战态势评估中, 红方可以攻击蓝方, 并能取得空战主动权。

4 结论

多机协同空战态势评估是空战辅助决策的基础, 也是实现协同空战的关键。本文分析了电子对抗环境对多机协同空战态势的影响, 提出了对态势评估参数转换和判断的方法, 并建立了具体的态势评估数学模型, 通过实例仿真计算, 验证了该方法的可行性和有效性, 对提高我军的空战能力具有一定指导意义。

参考文献:

[1] 李林森, 于海勋, 韩志刚, 等. 论协同空战及其关键技术[J]. 电光与控制, 2000, 7(1): 29-34.

[2] 张红, 李锋, 蓝伟华. 单机多目标攻击作战效能分析[J]. 电光与控制, 1999, 6(3): 12-19.

[3] 美国防部报告: 海湾战争[M]. 军事科学院外国军事研究部, 译. 北京: 军事科学出版社, 1991.

[4] 王宏伦. 多机空战模拟系统研究[D]. 西安: 西北工业大学, 1995: 43-56.

[5] 王红, 高晓光, 蔡小斌. 多目标攻击中的攻击逻辑与决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 1997(9): 93-97.

[6] 戴维·阿德米(美). 电子战建模与仿真导论[M]. 吴汉平, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004: 132-139.

[7] 邵国培, 曹志俊, 何俊. 电子对抗作战效能分析[M]. 北京: 解放军出版社, 1998.

[8] 董彦非, 冯惊雷, 张恒喜. 多级空战仿真协同战术决策方法[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(6): 723-725.

[9] 朱宝鑫, 朱荣昌, 熊笑非. 作战飞机效能评估[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993: 64-73.

[10] 唐雪松, 郭立红, 陈长喜. 基于 AHP 的威胁评估与排序模型研究[J]. 微计算机信息, 2006(9): 35-38.