目标分配在超视距空战效能中的应用研究

王晓光，章卫国，李广文

（西北工业大学 自动化学院，陕西 西安 710129）

摘 要：将目标分配引入到两步裁定法的效能研究之中。首先根据空战态势评估双方战机的易损性；然后根据易损性确定双方战机的先敌发射率；继而综合先敌发射率和导弹杀伤概率等因素来确定空战中每一架战机个体的被毁伤概率，结合约束条件得到超视距空战模型。给出一种基于 Memetic 算法的目标分配求解方法，该算法分别用离散差分进化算法和邻域搜索算法来进行全局和局部搜索。在收敛速度方面同离散差分进化算法进行了比较，最后通过仿真验证了该方法的合理性和有效性。

关 键 词：空战效能，Memetic 算法，目标分配，两步裁定，约束优化，进化算法
中图分类号：V271.4；E844 **文献标志码**：A **文章编号**：1000-2758(2014)03-0406-06

随着军用飞机技术的不断发展，空战武器和探测设备的作战半径越来越大，超视距作战在空战中所占比重越来越高。超视距空战过程不仅涉及到飞机性能，而且还与编队飞机之间的协同作战能力、空战战术等因素息息相关。因此，对编队飞机的超视距空战进行研究，是作战飞机效能研究领域中的一项必要工作。

根据敌我飞机的空战威胁态势进行作战目标的合理分配是现代战机超视距空战的关键技术之一，其目的是在有限的作战资源下实现对敌方飞机的最佳攻击效能。两步裁定法是 Rand 公司提出的超视距空战效能分析法，因其具有可信性高、考虑因素多、计算量小的特点，而大量应用于空战效能评估领域[1-3]，但是两步裁定法没有根据空战态势进行作战目标的合理分配，因此，本文对两步裁定法进行改进，通过引入目标分配环节，实现作战飞机的超视距空战效能优化。

1 超视距空战模型

两步裁定法通过易损性评估来计算先敌发射率进而来裁定空战损耗，计算步骤为：

第一步裁定：易损性低的一方向敌方发射导弹，敌方存活的战机进行还击，裁定双方机群的损耗；

第二步裁定：易损性高的一方向敌方发射导弹，对方存活下来的战机再还击，裁定双方机群的损耗，最终的损耗为两步裁定中的各自损耗之和。

为建立超视距空战模型，需首先计算敌方的易损性和先敌发射率，然后再进行损耗裁定。

1.1 易损性评估和先敌发射率计算

飞机的易损性指的是飞机承受威胁物一次或多次打击的能力，是指它在被敌方火力击中时倾向于严重损坏与毁坏的程度[4]。在实际空战中，飞机作战效能的发挥往往受到高度、速度、角度、作战能力等因素影响。因此，本文先对飞机的空战态势进行评估，并根据空战态势的分析结果来计算战机的易损性。

设红机 R_i 与蓝机 B_j 空战态势如图 1 所示[4]。

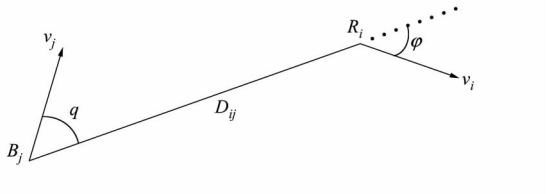


图 1 双方空战相对态势图

收稿日期：2013-10-24 **基金项目**：国家自然科学基金(61374032)资助
作者简介：王晓光(1985—)，西北工业大学博士研究生，主要从事飞行器作战效能评估及优化研究。

其中，$\boldsymbol{v}_i$ 是红机 R_i 速度矢量，$\boldsymbol{v}_j$ 是蓝机 B_j 速度矢量，D_{ij} 为目标线，是 R_i 与 B_j 之间的连线; q 是目标方位角，是本机航向与目标线的夹角; ϕ 是目标进入角，是目标机航向与目标线延长线的夹角。

设 B_j 对 R_i 的距离优势函数、角度优势函数、能量优势函数、空战能力优势函数分别为 S_{ji}^{Dji}、S_{ji}^{Aji}、S_{ji}^{Eji}、S_{ji}^{Cji}，则 B_j 对 R_i 的总优势函数 S_{ji}^{BR} 可用下式表示为[5]:

$$S_{ji}^{BR} = \alpha_1 S_{ji}^{Dji}\ S_{ji}^{Aji} + \alpha_2 S_{ji}^{Eji} + \alpha_3 S_{ji}^{Cji} \tag{1}$$

式中: α_1，α_2，α_3 为非负的权重系数，其满足:

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \tag{2}$$

S_{ji}^{Dji}、S_{ji}^{Aji}、S_{ji}^{Eji}、S_{ji}^{Cji} 的定义方法如下:

距离优势函数 S_{ji}^{Dji}

$$S_{ji}^{Dji} = \begin{cases} 0 & D_{ij} > R_B \\ 1 - \dfrac{R_B - D_{ij}}{R_B - T_B} & T_B < D_{ij} \leqslant R_B \\ 1 & D_{ij} \leqslant T_B \end{cases} \tag{3}$$

R_B 是蓝机雷达最大作用距离，T_B 是蓝机导弹射程。

角度优势函数

$$S_{ji}^{Aji} = 1 - \frac{\phi + q}{360} \tag{4}$$

能量优势函数

$$S_{ji}^{Eji} = \begin{cases} 0 & E_{Ri} > 2E_{Bj} \\ \mathrm{e}^{E_{Bj}/E_{Ri}-2} & 0.5E_{Bj} \leqslant E_{Ri} \leqslant 2E_{Bj} \\ 1 & E_{Ri} < 0.5E_{Bj} \end{cases} \tag{5}$$

式中: $E = H + \dfrac{v^2}{2g}$，H 为飞机的飞行高度。

飞机自身的空战能力为[6]

$$C = \omega_1\left(\omega_{F1}E_F^S + \omega_{F2}E_F^M\right)E_C\ E_{SA}\ E_W + \omega_3 E_V\ E_{ECM} \tag{6}$$

式中: C 为空战能力; E_F^S、E_F^M、E_C、E_{SA}、E_W、E_V、E_{ECM} 分别表示飞机的稳定飞行性能、机动飞行性能、操纵性能、态势感知能力、火力性能、生存能力和电子对抗能力; ω_{F1}、ω_{F2} 分别为飞机稳定飞行性能和机动飞行性能的权重。由此得到 B_j 对 R_i 空战能力优势函数为

$$S_{ji}^{Cji} = \begin{cases} 0 & C_B/C_R < 0.3 \\ 0.25 & 0.3 \leqslant C_B/C_R < 0.75 \\ 0.5 & 0.75 \leqslant C_B/C_R < 1.5 \\ 0.75 & 1.5 \leqslant C_B/C_R < 3 \\ 1 & C_B/C_R \geqslant 3 \end{cases} \tag{7}$$

式中: C_R 为 R_i 空战能力; C_B 为 B_j 空战能力。

分析(1) 式 ~ (7) 式，得到上述函数的取值范围: $S_{ji}^{Dji} \in [0,1]$，$S_{ji}^{Aji} \in [0,1]$，$S_{ji}^{Eji} \in [0,1]$，$S_{ji}^{Cji} \in [0,1]$，因此 $S_{ji}^{BR} \in [0,1]$; 同理可以得到 R_i 对 B_j 的优势函数 S_{ji}^{RB}。

令一方的优势函数作为另一方飞机的易损性评估结果: 即令 $\tau_{ij}^{RB} = S_{ji}^{BR}$，表示红机 R_i 相对于蓝机 B_j 易损性; 令 $\tau_{ji}^{BR} = S_{ij}^{RB}$，表示蓝机 B_j 相对于红机 R_i 易损性。这样，将态势评估结果融入到战机的易损性计算之中，反映出空战态势对作战效能的影响。

若 m 架蓝方战机与 n 架红方战机进行超视距空战，且编队飞机之间的机型类似，则机群整体的易损性可用机群易损性的平均值表示

$$\begin{cases} \tau^{RB} = \dfrac{\sum\limits_i^n \sum\limits_j^m S_{ji}^{BR}}{n} \\ \tau^{BR} = \dfrac{\sum\limits_i^n \sum\limits_j^m S_{ij}^{RB}}{m} \end{cases} \tag{8}$$

τ^{RB} 表示红方机群相对于蓝方机群的易损性，τ^{BR} 表示的是蓝方机群相对于红方机群的易损性。可以看出平均优势函数大的一方，其易损性小。

根据双方战机易损性可确定各自的先敌发射率。在单机超视距作战中，若 $\tau_{ij}^{RB} \leqslant \tau_{ji}^{BR}$，则先敌发射率为

$$\begin{cases} \beta_{ij}^{RB} = 0.5 + 0.5\left(\dfrac{\tau_{ji}^{BR} - \tau_{ij}^{RB}}{\tau_{ji}^{BR}}\right)^{0.2} \\ \beta_{ji}^{BR} = 1 - \beta_{ij}^{RB} \end{cases} \tag{9}$$

式中: β_{ij}^{RB} 为 R_i 相对于 B_j 的先敌发射率，β_{ji}^{BR} 为 B_j 相对于 R_i 的先敌发射率。

机群空战中，若 $\tau^{RB} \leqslant \tau^{BR}$，则先敌发射率为

$$\begin{cases} \beta^{RB} = 0.5 + 0.5\left(\dfrac{\tau^{BR} - \tau^{RB}}{\tau^{BR}}\right)^{0.2} \\ \beta^{BR} = 1 - \beta^{RB} \end{cases} \tag{10}$$

式中: β^{RB} 为红方机群相对于蓝方机群的先敌发射率，β^{BR} 为蓝方机群相对于红方机群的先敌发射率; 当 $\tau_{ij}^{RB} > \tau_{ji}^{BR}$ 或 $\tau^{RB} > \tau^{BR}$ 时，先敌发射率计算方法与此类似。可以看出: 空战中的优势一方，其先敌发射率高。

1.2　损耗裁定

本文将目标分配引入到损耗裁定中，并以战机个体的被毁伤概率来代替机群损耗。这样就能够得到每架战机的目标分配和损耗情况，从而得到更加

准确的效能分析结果。

假设在开始空战时敌我双方的生存概率均为1,根据敌我双方的先敌发射率和导弹的杀伤概率可以得到在空战裁定中战机的被毁伤概率(设蓝方为易损性低的一方,首先发起攻击)。

第一步裁定中,双方战机的被毁伤概率为

$$\begin{cases} P_{R_i,1} = 1 - \prod_{j=1}^{J_{i,1}} (1 - \beta_{ji}^{BR} P_{KR}) \\ P_{B_j,1} = 1 - \prod_{i=1}^{I_{j,1}} (1 - \beta_{ij}^{RB} P_{Ri},1P_{KB}) \end{cases} \tag{11}$$

式中: $P_{R_i,1}$ 为红机 R_i 在第一步裁定中受到攻击后的被毁伤概率; $P_{B_j,1}$ 为蓝机 B_j 在第一步裁定中被反击后的毁伤概率; $I_{j,1}$ 为第一步中攻击 B_j 的导弹数量; $J_{i,1}$ 为第一步中攻击 R_i 的导弹数量; P_{KB} 是 R_i 携带的导弹对 B_j 的杀伤概率, P_{KR} 是 B_j 携带的导弹对 R_i 的杀伤概率。

同理,第二步裁定中,飞机的被毁伤概率为

$$\begin{cases} P_{B_j,2} = 1 - P_{B_j,1} \prod_{i=1}^{I_{j,2}} (1 - (1 - \beta_{ij}^{RB}) P_{R_i,1} P_{KB}) \\ P_{R_i,2} = 1 - P_{R_i,1} \prod_{j=1}^{J_{i,2}} (1 - (1 - \beta_{ji}^{BR}) P_{B_j,1} P_{KR}) \end{cases} \tag{12}$$

式中: $P_{R_i,2}$ 为红机 R_i 在第二步裁定中受到攻击后的被毁伤概率; $P_{B_j,2}$ 为蓝机 B_j 在第二步裁定中的被毁伤概率。 $I_{j,2}$ 为第二步中攻击 B_j 的导弹数量; $J_{i,2}$ 为第二步中攻击 R_i 的导弹数量。

2 空战目标分配

2.1 空战目标分配模型

设红方编队有 n 架战机,每架战机挂载 N_R 枚导弹,共有 nN_R 枚导弹;蓝方有 m 架战机,每架战机挂载有 N_B 枚导弹,则蓝方共有 mN_B 枚导弹。

空战目标分配的目的是在有限资源下对敌方造成杀伤,使敌方剩余战机对我方的攻击优势最小,从而我方获得较大的作战效能值。由此,得到第 $s(s=1,2)$ 步红方的目标函数为

$$\min E_R = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} ((1 - P_{B_j,s}) S_{ji}^{BR}) \tag{13}$$

蓝方的目标函数为

$$\min E_B = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} ((1 - P_{R_i,s}) S_{ij}^{RB}) \tag{14}$$

E_R, E_B 的意义是使敌方剩余战机的优势函数值最小,它们是衡量作战效能的函数。

设红蓝双方每架战机每回合空战能发射 NR_s, NB_s 枚导弹,得到目标分配的约束

$$\text{s.t} \begin{cases} \sum_{s=1}^{2} N_{B_s} \leqslant N_B \\ \sum_{s=1}^{2} N_{R_s} \leqslant N_R \end{cases} \tag{15}$$

2个约束的意义分别是是空战中蓝方和红方每架飞机个体最多挂载 N_B, N_R 枚导弹。

2.2 Memetic 算法

空战目标分配是0-1整数规划问题[7],可用离散启发式算法对其进行求解。Memetic 算法[8]是一种基于种群的全局搜索和基于个体的局部搜索的混合算法;全局搜索在整个解空间进行搜索,局部搜索则是在全局搜索的基础上进行个体的局部搜索。Memetic 算法可以认为是一种搜索框架,采用不同的全局和局部搜索策略,可以构成不同的 Memetic 算法。现分别采用离散差分进化(discrete differential evolution, DDE)算法和邻域搜索(neighborhood search, NS)算法作为全局搜索算法和局部搜索算法,以构成 Memetic 算法。

2.2.1 全局搜索操作——DDE 算法

DDE 算法是一种基于群体进化的优化算法,通过种群内个体间的竞争与合作实现对问题的求解[9]。算法的基本流程如下:

步骤1 在解空间随机初始化种群 $x_1^0, x_2^0, \cdots x_N^0$,种群中每个个体的维数为 D 维,即 $x_i^0 = [x_{i,1}^0, x_{i,2}^0, \cdots, x_{i,D}^0]$。其中, $x_1^0, x_2^0, \cdots x_N^0$ 均为整数。初始化交叉概率因子 $CR(0 \leqslant CR \leqslant 1)$,设置种群的最大进化代数 K。

步骤2 假设当前种群为第 k 代,对于种群中的每个个体 $x_i^k (1 \leqslant i \leqslant N)$,通过变异、交叉和选择产生下一代个体 x_i^{k+1}:

1) 变异操作:首先选取种群中适应值最好的个体 x_{best}^k,然后在其他个体中随机选取 $x_b^k, x_c^k, x_d^k, x_e^k$,并按式(16)生成对应的变异个体 v_i^k:

$$v_i^k = \lambda x_i^k + (1 - \lambda) x_{\text{best}}^k + F \cdot (x_b^k - x_c^k + x_d^k - x_e^k) \tag{16}$$

式中: $0 \leqslant F \leqslant 2$, $\lambda = (K - k)/K$。由于 F 可能为小数,故 v_i^k 也可能为小数,为此,需要用四舍五入的方法对 v_i^k 进行取整。

2) 交叉操作: 为了提高种群的多样性，按(17)式生成对应的个体 u_i^k:

$$u_{i,j}^k = \begin{cases} v_{i,j}^k, & \text{rand}(j) \leqslant CR \\ x_{i,j}^k, & \text{其他} \end{cases} \tag{17}$$

式中: $1 \leqslant j \leqslant D$，rand($j$) 为 [0,1] 之间均匀分布的随机数。

3) 选择操作: 利用(18)式对试验个体 u_i^k 和原种群个体 x_i^k 的目标函数进行比较，选择目标函数小的作为新种群的个体 x_i^{k+1}:

$$x_i^{k+1} = \begin{cases} u_i^k, & f(u_i^k) < f(x_i^k) \\ x_i^k, & \text{其他} \end{cases} \tag{18}$$

步骤 3　如果满足算法终止条件或达到最大进化代数 K，则算法停止，否则，返回步骤 2。

2.2.2　局部搜索操作——NS 算法

NS 算法从一个当前解开始，在其邻域中搜寻比其更好的解，若其邻域内存在更好的解，则以更好的解代替此解称为当前解，重新搜索; 否则结束搜索过程，并以此解作为当前代数的最终解。NS 算法的关键在于如何确定交换邻域。可定义 NS 交换邻域是通过交换任意 2 个位置上的值来得到一个新解，将所有这样产生的新解集合称为其交换邻域。

整个 Memetic 算法流程为:

1) 首先初始化种群。设置 DDE 算法中的参数: 交叉概率因子 CR 和种群的最大进化代数 K。

2) 用 DDE 算法依次对种群个体进行变异、交叉、选择操作，从而可以得到当前种群最优个体。

3) 在最优个体邻域内用 NS 算法进行局部搜索，寻找比当前最优个体更好的解来代替当前解，直到邻域内没有更好的解，并以当前解作为本代数的最终解。

4) 如果达到最大进化代数或满足终止条件则算法停止，否则返回 2)。

3　仿真算例

设空战双方每架战机均携带 4 枚导弹，且每架战机在一个空战回合中最多发射 2 枚导弹，导弹杀伤概率 $P_{K_R} = 0.81$，$P_{K_B} = 0.78$。红方出动 6 架战机与蓝方的 4 架战机进行超视距空战。当战机击毁概率大于 0.9 时，认为其被击毁，存活概率置零。

开始空战时，按照(1) ~(7)式得到的空战态势分别如表 1 和表 2 所示。

表 1　蓝方对红方的优势函数表

红机编号	蓝机编号			
	1	2	3	4
1	0.63	0.68	0.80	0.68
2	0.72	0.69	0.74	0.74
3	0.73	0.68	0.71	0.69
4	0.68	0.74	0.68	0.72
5	0.84	0.89	0.73	0.70
6	0.73	0.45	0.66	0.45

表 2　红方对蓝方的优势函数表

红机编号	蓝机编号			
	1	2	3	4
1	0.34	0.53	0.33	0.41
2	0.46	0.71	0.60	0.62
3	0.29	0.42	0.28	0.47
4	0.63	0.65	0.62	0.59
5	0.61	0.47	0.49	0.61
6	0.65	0.81	0.66	0.56

首先按照(8)式得到双方机群的易损性 $\tau^{BR} = 2.79$，$\tau^{RB} = 3.20$; $\tau^{BR} < \tau^{RB}$，故蓝方首先发起攻击。

仿真采用 DDE 算法来和 DDE-NS 组合而成的 Memetic 算法进行比较，可以得到两步裁定中作战双方的优势函数进化曲线分别如图 2 和图 3 所示。

由图 2 和图 3 可以看出，Memetic 算法由于增加了局部搜索环节，能够比 DDE 算法更早收敛到最优解，具有较快的搜索速度和较高的搜索效率。

仿真得到的目标分配结果和飞机的毁伤概率如表 3 和表 4 所示。

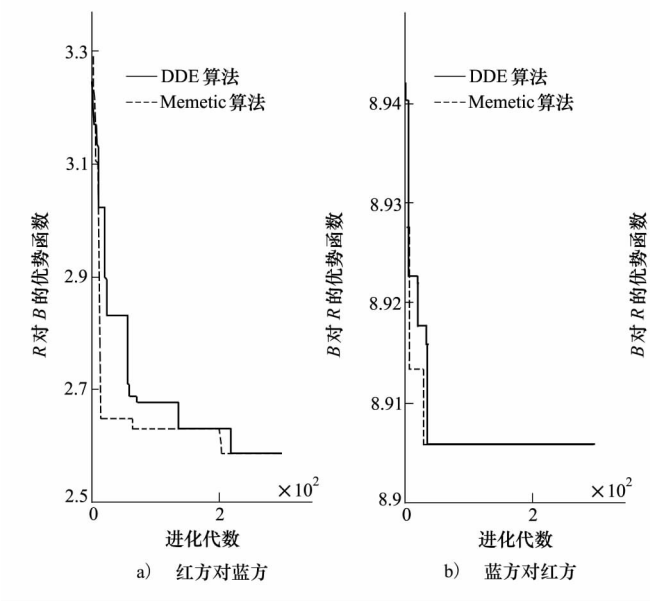


图2 第一步裁定中双方的优势函数进化曲线

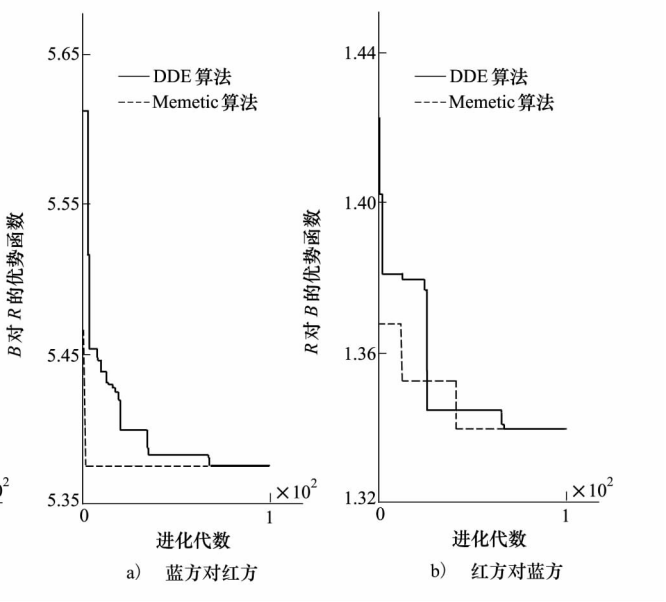


图3 第二步裁定中双方的优势函数进化曲线

表3 空战中蓝方的目标分配和被毁伤概率

战机编号		1	2	3	4
第一步	击毁概率	0.05	0.31	0.05	0.28
	攻击目标	6,2	5,5	1,3	2,4
第二步	击毁概率	0.56	0.46	0.51	0.45
	攻击目标	4,4	4,6	6,6	4,4

表4 空战中红方的目标分配和被毁伤概率

战机编号		1	2	3	4	5	6
第一步	击毁概率	0.74	1	0.74	0.67	1	0.64
	攻击目标	2,2	Null	4,4	3,1	Null	2,4
第二步	击毁概率	0.74	1	0.74	0.78	1	1
	攻击目标	3,3	Null	1,3	4,2	Null	1,1

表中 Null 表示该飞机在发射导弹前已被敌方击毁。

通过仿真实验可以看出，红方虽然在数量和导弹的杀伤率上劣势，但是由于蓝方空战态势占优，故其能够在红方之前发动攻击，通过合理的目标分配，成功击毁红方 3 架战机，并保持己方飞机不被击落，充分发挥了我方战机的作战效能。该方法能够有效地从目标分配层面实现机群整体和飞机个体的超视距作战效能评估和优化。

4 结 论

本文对超视距空战中作战飞机的效能优化问题进行了研究。首先，针对两步裁定法中不能反映飞机个体损耗和不存在目标分配过程 2 个问题，对两步裁定法进行了改进，建立了一种改进的超视距空战模型，使其能够反映出机群中每个飞机个体损耗以及战机导弹的分配情况。随后，在一定的约束条件下，建立了超视距空战的效能优化模型，并用 Memetic 算法对该优化问题进行求解，Memetic 算法优化过程中，首先采用 DDE 算法在问题的解空间内进行全局搜索，然后用 NS 算法进行局部搜索，提高了种群的收敛速度。仿真结果体现了该算法的有效性和可行性，该目标分配算法可以用于超视距空战的效能研究当中。

参考文献:

[1] Shlapak D A, Orletsky D T, Wilson B A. Dire Strait Military Aspects of the China-Taiwan Confrontation and Options for US Policy [M]. RAND-TMR212172SRF, 2000

[2] 宋磊,孙瑜,黄俊. 基于改进多步裁定法的超视距空战体系效能研究 [J]. 飞行力学,2013,31(3):285-288
Song Lei, Sun Yu, Huang Jun. Synthetic Effectiveness Evaluation for Beyond Visual Range Air Combat System Based on Improved Multi-Step Adjudication Method [J]. Flight Dynamics, 2013,31(3):285-288 (in Chinese)

[3] Ball R E. The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design [M]. 2nd ed. New York: AIAA Inc, 2003: 603

[4] Austin F, Carbone G, Michael F, et al. Game Theory for Automated Maneuvering during Air-to-Air Combat [J]. Journal of Guidance,1990,13(6): 1143-1147

[5] 罗德林,段海滨,吴顺详,等. 基于启发式蚁群算法的协同多目标攻击空战决策研究 [J]. 航空学报,2006,27(6):1166-1170
Luo Delin, Duan Haibin, Wu Shunxiang, et al. Research on Air Combat Decision-Making for Cooperative Multiple Target Attack Using Heuristic Ant Colony Algorithm [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2006,27(6):1166-1170(in Chinese)

[6] 傅裕松,黄长强,韩统,等. 飞机空战能力评估综合指数模型 [J]. 电光与控制,2009,16(9): 24-28
Fu Yusong, Huang Changqiang, Han Tong, et al. Synthesized Index Model for Air Combat Capability Assessment of Fighter Aircrafts [J]. Electronics Optics & Control, 2009,16(9): 24-28(in Chinese)

[7] Ahuja R, Kumar A, Jha K, et al. Exact and Heuristic Algorithms for the Weapon-Target Assignment Problem [J]. Operations Research,2007,55(6): 1136-1146

[8] Ellabaan M. Discovering Unique, Low-Energy Transition States Using Evolutionary Molecular Memetic Computing [J]. IEEE Computational Intelligence Magazine, 2013,8(3):54-63

[9] 刘俊梅,高岳林. 非线性混合整数规划问题的改进差分进化算法 [J]. 工程数学学报,2010,27(6):965-974
Liu Junmei, Gao Yuelin. Improved Differential Evolution Algorithm for Nonlinear Mixed-Integer Programming Problems [J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2010, 27(6): 965-974 (in Chinese)

Applying Target Assignment Effectively to beyond Visual Range Air Combat

Wang Xiaoguang, Zhang Weiguo, Li Guangwen
(Department of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi´an 710129, China)

Abstract: The target assignment was studying two-step adjudication´s effectiveness. Firstly, the battle plane´s vulnerabilities were estimated according to the air combat situations. Secondly, the first-shoot-fraction for both sides' battle planes was determined with these vulnerabilities. Thirdly, based on the first-shoot-fraction and kill probability for a single missile, each battle plane´s damage probabilities were calculated in the air combat. Finally, the beyond visual range air combat model was established with constraining relationships considered. A solving method for the target assignment based on Memetic algorithm was presented. It is constructed with discrete differential evolution (DDE) algorithm for the global searching and with neighborhood algorithm for the local searching. The algorithm was compared with DDE algorithm on the convergence rate. The air combat simulation was carried out; the results and their analysis prove preliminarily that the proposed algorithm is feasible and effective.

Key words: algorithms, computer simulation, constrained optimization, convergence of numerical methods, efficiency, evolutionary algorithms, flowcharting, functions, mathematical models, optimization, probability; air combat effectiveness, Memetic algorithm, target assignment, two-step adjudication