

基于博弈论模型的多机协同对抗多目标任务决策方法

姚宗信^{1,2}, 李 明^{1,2}, 陈宗基¹

(1. 北京航空航天大学, 北京 100083; 2. 沈阳飞机设计研究所, 辽宁 沈阳 110035)



摘 要: 根据多机协同对抗多目标的空战特征, 以敌我双方可能的相互攻击组合方式作为策略集, 由敌我双方对抗态势分析定量结果确定支付函数, 建立完全信息静态博弈模型。通过求解博弈模型的混合策略纳什均衡解, 并结合一定作战经验, 形成任务决策方法。以无人作战飞机编队对抗敌地对空防御系统为例, 对本文所研究的任务决策方法进行了验算。

关键词: 多机协同; 对抗多目标; 任务决策; 博弈论

中图分类号: O 225

文献标识码: A

文章编号: 1671-654X(2007)03-0007-05

引言

在我方多机编队与敌方多个(空中或地面)目标形成对峙的态势下, 由于我方编队内的每架飞机都能够通过自身机载目标探测传感器对敌方目标进行定位与识别(在传感器能力范围内), 同时又能够通过战术数据链接收编队内其它飞机探测到的(相同或不同)目标信息, 因此, 在这里, 假设我方飞机编队对敌方所有目标的位置和属性都已经知道, 并且能够据此推测出敌方(多个目标)的目标探测传感器和进攻性武器的能力以及可能采取的攻击策略, 进而推测出在采取每种攻击策略时敌方可以获得的收益。从博弈模型的角度说, 就是我方知道敌方的“局中人”、“策略”和“支付函数”。由于我们考虑的是与强敌进行对抗, 因此, 敌方对我方情况的掌握至少应该与我方对敌方情况的了解对等。也就是说, 敌方同样知道我方的“局中人”、“策略”和“支付函数”。此外, 在敌我双方对抗时, 由于每一方都想争得先机, 因此, 为公平起见, 假设敌我双方同时采取策略。

根据上面分析, 基于完全信息静态博弈模型进行多机协同对抗多目标任务决策方法研究比较合适。

国外关于空战决策方面文献很有限, 仅有一些相关的研究报道^[1-6], 不足以借鉴。国内在“协同多目标攻击空战决策”方面有学者开展了研究^[7,8], 但是, 体现相互攻击的对抗性考虑不足。本文则通过将博弈论模型引入决策方法突出对抗性, 增加研究的实用价值。在博弈论模型研究方面国内也很多学者开展了研

究^[9-15], 但是, 针对空战决策的还未见到公开报道。

1 基于完全信息静态博弈模型的多机协同对抗多目标任务决策方法

1.1 多机协同对抗多目标博弈模型

在多机协同对抗多目标任务决策中, 将我方所有飞机作为一个局中人考虑, 同样, 将敌方所有目标作为一个局中人考虑, 并且, 敌我双方采取的对抗策略肯定是有限。因此, 多机协同对抗多目标博弈模型简化成为二人有限策略型博弈模型, 即:

$G = \langle N, S_1, S_2, u_1, u_2 \rangle$, $N = \{1, 2\}$, 1代表我方(包括 k 架飞机), 2代表敌方(包括 l 个目标)。

$S_1 = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$, $S_2 = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, α_i ($i = 1, 2, \dots, m$)代表我方 k 架飞机对敌方 l 个目标可能采取的 m 种攻击策略; β_j ($j = 1, 2, \dots, n$)代表敌方 l 个目标对我方 k 架飞机可能采取的 n 种攻击策略。

设 $a_{ij} = u_1(\alpha_i, \beta_j)$, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$ 代表在我方采取 α_i 攻击策略, 而敌方采取 β_j 攻击策略时, 我方的收益;

$b_{ij} = u_2(\alpha_i, \beta_j)$, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$ 代表在我方采取 α_i 攻击策略, 而敌方采取 β_j 攻击策略时, 敌方的收益。则称以向量 (a_{ij}, b_{ij}) 为元素的 m 行 n 列矩阵为 G 的支付矩阵。

$$\begin{matrix} & \beta_1 & \beta_2 & \cdots & \beta_n \\ \alpha_1 & (a_{11}, b_{11}) & (a_{12}, b_{12}) & \cdots & (a_{1n}, b_{1n}) \\ \alpha_2 & (a_{21}, b_{21}) & (a_{22}, b_{22}) & \cdots & (a_{2n}, b_{2n}) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_m & (a_{m1}, b_{m1}) & (a_{m2}, b_{m2}) & \cdots & (a_{mn}, b_{mn}) \end{matrix}$$

但是,上述博弈模型

$G = \langle N, S_1, \cdots, S_n, u_1, \cdots, u_n \rangle$ 的纳什均衡不一定总存在。为了解决这类均衡不存在的问题,需要把策略的概念扩充为混合策略的概念,进而把纳什均衡的概念扩充为混合策略意义下的纳什均衡的概念。

分别称 $A = (a_{ij})_{m \times n}$, $B = (b_{ij})_{m \times n}$ 为我方与敌方的支付矩阵。因为博弈模型 G 完全可由支付矩阵 A, B 决定,因而称 G 为双矩阵博弈模型。

设我方的混合策略集合为

$$X = \{x \in R_+^m \mid \sum_{i=1}^m x_i = 1\}, x_i \text{ 代表我方采取策略 } \alpha_i$$

的概率;

敌方的混合策略集合为

$$Y = \{y \in R_+^n \mid \sum_{j=1}^n y_j = 1\}, y_j \text{ 代表敌方采取策略 } \beta_j$$

的概率。(这里 R_+^n 表示所有 n 维非负向量构成的集合)。

另设 $x \in X$ 为 m 维行向量, $y \in Y$ 为 n 维列向量。则在混合策略 $(x, y) \in X \times Y$ 下,我方的期望支付函数为 $H_1(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i y_j = xAy$; 敌方的期望支付函数

$$\text{为 } H_2(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} x_i y_j = xBy.$$

对于双矩阵对策,可如下描述其混合策略纳什均衡,对于 $(x^*, y^*) \in X \times Y$, 如果对 $\forall (x, y) \in X \times Y$, 都有 $xAy^* \leq x^*Ay^*, x^*By \leq x^*By^*$, 则 (x^*, y^*) 为双矩阵博弈的混合策略纳什均衡,根据博弈论相应定理,此均衡必存在。

设 $x = \max(x_1^*, x_2^*, \cdots, x_m^*) = x_i^*, i = 1, 2, \cdots, m$, 则 x_i^* 所对应的策略 α_i 为在某一对抗态势下,我方应采取的作战策略。

设 $y = \max(y_1^*, y_2^*, \cdots, y_n^*) = y_j^*, j = 1, 2, \cdots, n$, 则 y_j^* 所对应的策略 β_j 同一对抗态势下,敌方最有可能采取的作战策略。

可以采用迭代法求解混合策略纳什均衡,但是,该方法会带来巨大的计算量,为此,可以根据经验对我方和敌方的混合策略集 X, Y 进行裁剪后再求解。由于本文针对的是比较具体的应用环境,因此,有可能根据以往的空战经验和战术仿真结果对混合策略的概率分布进行一定范围的预测,从而避免求解混合策略纳什

均衡时面对庞大的搜索空间。

1.2 多机协同对抗多目标博弈模型策略集

博弈模型中我方策略集 $S_1 = (\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_m)$ 的定义如下:

$$\alpha_i = ((W_1, d_1), (W_2, d_2), \cdots, (W_l, d_l)), \\ i = 1, 2, \cdots, m \quad (1)$$

其中:

$W_1, W_2, \cdots, W_l \subset W = (w_1, w_2, \cdots, w_k, \varphi)$, 并且 $W_1 \cup W_2 \cup \cdots \cup W_l = W, W_1 \cap W_2 \cap \cdots \cap W_l = \Phi$; w_1, w_2, \cdots, w_k 代表 k 架我方飞机,而 φ 代表无实体; $(W_l, d_l), l = 1, 2, \cdots, l$ 代表 W_l 架我方飞机协同攻击敌方目标 d_l 。

博弈模型中敌方策略集 $S_2 = (\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n)$ 的定义如下:

$$\beta_j = ((D_1, w_1), (D_2, w_2), \cdots, (D_l, w_k)), \\ j = 1, 2, \cdots, n \quad (2)$$

其中:

$D_1, D_2, \cdots, D_l \subset D = (d_1, d_2, \cdots, d_l, \varphi)$, 并且 $D_1 \cup D_2 \cup \cdots \cup D_l = D, D_1 \cap D_2 \cap \cdots \cap D_l = \Phi$; d_1, d_2, \cdots, d_l 代表 l 个敌方目标,而 φ 代表无实体; $(D_l, w_l), l = 1, 2, \cdots, k$ 代表 D_l 个敌方目标协同攻击我方飞机 w_l 。

1.3 基于综合态势分析的敌我双方支付函数

博弈模型中,设我方在采取 α_i 策略,而敌方采取 β_j 策略时,我方的支付函数为:

$$u_1(\alpha_i, \beta_j) = \frac{m 1^{\alpha_i}(a) \cdot m 2^{\beta_j}(b)}{m 1^{\alpha_j}(b) \cdot m 2^{\beta_j}(a)} \quad (3)$$

其中 $m 1^{\alpha_i}(a), m 1^{\alpha_i}(b), m 2^{\beta_j}(a)$ 和 $m 2^{\beta_j}(b)$ 为 D-S 证据理论的基本可信数表达式。

其中 $m 1^{\alpha_i}(a)$ 和 $m 1^{\alpha_i}(b)$ 分别表示我方在采取 α_i 策略时,能够获得的收益(攻击有效性)和将要付出的代价(攻击无效性); $m 2^{\beta_j}(a)$ 和 $m 2^{\beta_j}(b)$ 则分别表示敌方在采取 β_j 策略时,能够获得的收益(攻击有效性)和将要付出的代价(攻击无效性)。

其中 $m 1^{\alpha_i}(a)$ 和 $m 1^{\alpha_i}(b)$ 和由 D-S 证据理论的合成规则计算,满足下面表达式:

$$m 1^{\alpha_i} = m 1_1^{\alpha_i} \oplus m 1_2^{\alpha_i} \oplus \cdots \oplus m 1_l^{\alpha_i} \oplus \cdots \oplus m 1_l^{\alpha_i} \quad (4)$$

式(4)代表当我方采取某一策略(由上标 α_i 表示)时,在我方全部飞机协同攻击敌方全部 l 个目标(由下标 l 表示其序号)的对抗态势下,由我方飞机对敌方全部 l 个目标的攻击有效性证据

$m 1_1^{\alpha_i}, m 1_2^{\alpha_i}, \cdots, m 1_l^{\alpha_i}, \cdots, m 1_l^{\alpha_i}$ 支持的我方全部飞机协同攻击敌方全部 l 个目标的攻击有效性证据 $m 1^{\alpha_i}$ 。

$m 2^{\beta_j}(a)$ 和 $m 2^{\beta_j}(b)$ 的计算表达式与 $m 1^{\alpha_i}(a)$ 和 $m 1^{\alpha_i}(b)$ 类似,只不过是代表敌方目标对我方飞机的攻击。

同理可以定义博弈模型中敌方的支付函数为:

$$u_2(\alpha_i, \beta_j) = \frac{m1^{\alpha_i}(b) \cdot m2^{\beta_j}(a)}{m1^{\alpha_i}(a) \cdot m2^{\beta_j}(b)},$$
$$i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

2 无人作战飞机编队对抗敌地对空防御系统任务决策算例

2.1 作战设定

我方由四架无人作战飞机组成一个攻击编队。编队内每架飞机具有相同的传感器和武器能力, 以相同的高度 (10000m) 和速度 ($Ma=0.8$ 或者 240m/s) 飞行, 每架飞机相对于编队内其它飞机以及敌方各个目标之间的水平位置可以改变, 这里设定我方 4 架飞机组成梯形编队, 前 2 架飞机平行, 间距 10km, 后两架飞机平行, 间距 20km, 前后两排飞机间距 5km。

敌方由三个地对空导弹防御阵地和一个高价值目标组成一个作战群。三个导弹阵地的连线构成一个等边三角形, 三角形的边长为 20km, 高价值目标位于三角形的中心。我方编队中心与敌方作战群中心 (即高价值目标) 之间相对位置可以在 5km 到 25km 之间的水平距离范围内任意设定, 这里设定为 20km。

我方作战单元 (飞机) 作战能力由 SAR 雷达和 JDAM 武器决定, 而敌方作战单元 (导弹阵地) 由近程地对空导弹系统决定, 并转化为对攻击有效性的模糊隶属度。

2.2 博弈模型

针对上述作战想定, 建立博弈模型如下:

$G=\langle N, S_1, S_2, u_1, u_2 \rangle, N=\{1, 2\}$, 1 代表我方 (包括四架无人作战飞机), 2 代表敌方 (包括三个地对空导弹防御阵地和一个被保护的高价值目标)。

$S_1=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{12})$ 代表我方对敌方实施攻击的策略集合, 其中

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= ((w_1, d_1), (w_2, d_2), (w_3, m), (w_4, d_3)) \\ \alpha_2 &= ((w_1, w_2), d_1), (w_3, d_2), (w_4, m), (\varnothing, d_3)) \\ \alpha_3 &= (((w_1, w_2, w_3), d_1), (\varnothing, d_2), (w_4, m), (\varnothing, d_3)) \\ \alpha_4 &= ((w_1, d_1), ((w_2, w_3), d_2), (w_4, m), (\varnothing, d_3)) \\ \alpha_5 &= ((\varnothing, d_1), ((w_1, w_2, w_3), d_2), (w_4, m), (\varnothing, d_3)) \\ \alpha_6 &= ((w_1, d_1), ((w_2, w_3), d_2), (\varnothing, m), (w_4, d_3)) \\ \alpha_7 &= (((w_1, w_2), d_1), (w_3, d_2), (\varnothing, m), (w_4, d_3)) \\ \alpha_8 &= (((w_1, w_2, w_3), d_1), (w_4, d_2), (\varnothing, m), (\varnothing, d_3)) \\ \alpha_9 &= (((w_1, w_2, w_3, w_4), d_1), (\varnothing, d_2), (\varnothing, m), (\varnothing, d_3)) \\ \alpha_{10} &= ((\varnothing, d_1), ((w_1, w_2), d_2), (\varnothing, m), ((w_3, w_4), d_3)) \\ \alpha_{11} &= ((\varnothing, d_1), ((w_1, w_2, w_3), d_2), (\varnothing, m), ((w_4, d_3)) \\ \alpha_{12} &= ((\varnothing, d_1), ((w_1, w_2, w_3, w_4), d_2), (\varnothing, m), ((\varnothing, d_3)) \end{aligned}$$

其中 $w_i, i=1, 2, 3, 4$ 代表我方编号 1 至编号 4 无人作战飞机; $d_j, j=1, 2, 3$ 代表敌方编号 1 至编号 3 地

对空导弹防御阵地; m 敌方被保护的高价值目标; $((a, b), c)$ 代表 a 与 b 协同攻击 c ; \varnothing 代表无实体, 例如 (\varnothing, m) 代表没有飞机攻击目标。下面以 α_4 为例, 说明攻击策略的具体含义。

$$\alpha_4 = ((w_1, d_1), ((w_2, w_3), d_2), (w_4, m), (\varnothing, d_3))$$

α_4 代表我方对敌方采取的一种攻击策略, 即: 我方编号 1 无人作战飞机攻击敌方编号 1 地对空导弹阵地; 我方编号 2 与编号 3 无人作战飞机协同攻击敌方编号 2 地对空导弹阵地; 我方编号 4 无人作战飞机攻击敌方高价值目标; 我方不派遣飞机攻击敌方编号 3 地对空导弹阵地。

$\alpha_1 \sim \alpha_5$ 策略的指导思想是: 对敌方导弹阵地和目标同时攻击; 而 $\alpha_6 \sim \alpha_{12}$ 策略的指导思想是: 先攻击敌方导弹阵地, 然后再攻击目标。

$S_2=(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_6)$, 代表敌方对我方实施攻击的策略集合, 其中

$$\begin{aligned} \beta_1 &= ((d_1, w_1), (d_2, w_2), (d_3, w_3), (\varnothing, w_4)) \\ \beta_2 &= (((d_1, d_2), w_1), (d_3, w_2), (\varnothing, w_3), (\varnothing, w_4)) \\ \beta_3 &= (((d_1, d_2, d_3), w_1), (\varnothing, w_2), (\varnothing, w_3), (\varnothing, w_4)) \\ \beta_4 &= ((d_1, w_1), (d_3, w_2), (\varnothing, w_3), (d_3, w_4)) \\ \beta_5 &= ((\varnothing, w_1), ((d_1, d_2), w_2), (d_3, w_3), (\varnothing, w_4)) \\ \beta_6 &= ((\varnothing, w_1), ((d_1, d_2, d_3), w_2), (\varnothing, w_3), (\varnothing, w_4)) \end{aligned}$$

下面以 β_5 为例, 具体说明策略的含义。

$$\beta_5 = ((\varnothing, w_1), ((d_1, d_2), w_2), (d_3, w_3), (\varnothing, w_4))$$

β_5 代表敌方对我方采取的一种攻击策略, 即: 敌方不指示地对空导弹阵地攻击我方编号 1 无人作战飞机; 敌方编号 1 与编号 2 地对空导弹阵地协同攻击我方编号 2 无人作战飞机; 敌方编号 3 地对空导弹阵地攻击我方编号 3 无人作战飞机; 敌方不指示地对空导弹阵地攻击我方编号 4 无人作战飞机。

由第 1.3 节的研究结论可知, $m1^{\alpha_i}(a)$ 和 $m1^{\alpha_i}(b)$ 分别反应了我方在采取 α_i 策略时, 能够获得的收益和将要付出的代价; 而 $m2^{\beta_j}(a)$ 和 $m2^{\beta_j}(b)$ 则分别反应了敌方在采取 β_j 策略时, 能够获得的收益和将要付出的代价。因此, 设

$$u_1(\alpha_i, \beta_j) = \frac{m1^{\alpha_i}(a) \cdot m2^{\beta_j}(b)}{m1^{\alpha_i}(b) \cdot m2^{\beta_j}(a)},$$
$$i=1, 2, \dots, 12, j=1, 2, \dots, 6$$

称 $u_1(\alpha_i, \beta_j)$ 为我方采取 α_i 策略, 而敌方采取 β_j 策略时, 我方的支付函数; 设

$$u_2(\alpha_i, \beta_j) = \frac{m1^{\alpha_i}(b) \cdot m2^{\beta_j}(a)}{m1^{\alpha_i}(a) \cdot m2^{\beta_j}(b)},$$
$$i=1, 2, \dots, 12, j=1, 2, \dots, 6$$

称 $u_2(\alpha_i, \beta_j)$ 为我方采取 α_i 策略, 而敌方采取 β_j 策略时, 敌方的支付函数。

2 3 均衡解计算与任务决策

根据第 2 2 节所述, 分别确定我方与敌方的支付矩阵 $A=(a_{ij})_{12\times 6}$ $B=(b_{ij})_{12\times 6}$ 如下:

	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
α_1	0 888	0 711	1 483	0 904	1 912	5 836
α_2	0 604	0 484	1 009	0 615	1 301	3 970
α_3	0 094	0 075	0 156	0 095	0 202	0 616
α_4	1 284	1 028	2 144	1 307	2 764	8 436
α_5	4 460	3 570	7 447	4 540	9 599	29 30
α_6	0 782	0 626	1 305	0 796	1 682	5 134
α_7	0 368	0 294	0 614	0 374	0 792	2 416
α_8	0 447	0 358	0 747	0 455	0 963	2 938
α_9	0 018	0 014	0 029	0 018	0 038	0 117
α_{10}	1 277	1 022	2 133	1 300	2 749	8 390
α_{11}	2 714	2 173	4 532	2 763	5 842	17 83
α_{12}	9 427	7 545	15 74	9 596	20 29	61 92
	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
α_1	1 125	1 406	1 483	1 106	0 523	0 171
α_2	1 654	2 067	0 991	1 625	0 769	0 252
α_3	10 67	13 33	6 392	10 48	4 958	1 625
α_4	0 779	0 973	0 466	0 765	0 362	0 119
α_5	0 224	0 280	0 134	0 220	0 104	0 034
α_6	1 279	1 598	0 766	1 257	0 594	0 195
α_7	2 719	3 396	1 628	2 671	1 263	0 414
α_8	2 236	2 793	1 339	2 197	1 039	0 340
α_9	56 20	70 21	33 66	55 21	26 11	8 556
α_{10}	0 783	0 978	0 469	0 769	0 364	0 119
α_{11}	0 368	0 460	0 221	0 362	0 171	0 056
α_{12}	0 106	0 132	0 064	0 104	0 049	0 016

利用 Gambit 中的静态双矩阵博弈 (Scar 算法) 自行开发仿真软件, 针对上述敌我双方支付矩阵求解出的博弈模型纳什均衡解为:

我方选取策略 α_{12} , 而敌方选取策略 β_3 ; 我方策略对应的支付值为 7 545 敌方策略对应的支付值为 0 132 敌我双方的对抗策略决策结果如图 1 所示。

若将第 2 1 节中设定的我方飞机之间间距、敌方目标之间间距以及我方飞机编队与敌方目标群之间间距缩小一半, 重新进行博弈决策, 则获得如下结果:

我方选取策略 α_4 , 而敌方选取策略 β_1 ; 我方策略对应的支付值为 19 20 敌方策略对应的支付值为 0 052 敌我双方的对抗策略决策结果如图 2 所示。

对于第 2 1 节中初始设定的敌我双方对抗态势, 由于我方后排飞机与敌方后排地对空导弹之间的距离超出了我方机载武器的作用距离, 因此, 如图 1 所示决策出我方四架飞机全部攻击敌方前排目标是合理的。

对于第 2 3 节中变化后的敌我双方对抗态势, 由于我方飞机与敌方全部目标之间的距离均在我方机载武器的作用距离之内, 因此, 如图 2 所示决策出“我方飞机与敌方导弹形成对攻局面”以及“我方飞机对敌方战略目标和导弹阵地同时进行攻击”是合理的。

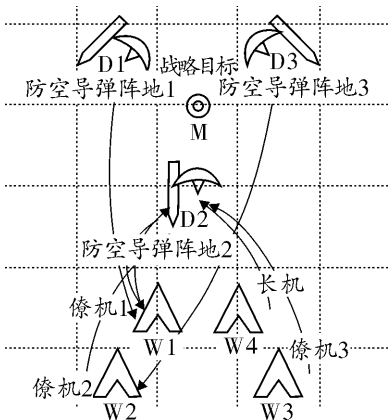


图 1 对抗策略示意图

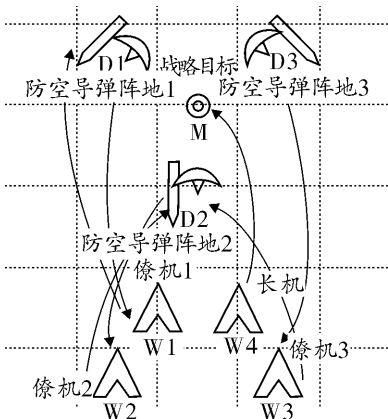


图 2 对抗策略示意图

3 结论

通过研究, 对于本文所设计的“基于博弈论模型的多机协同对抗多目标任务决策方法”有如下结论:

- 1) 基于完全信息静态博弈论模型建立多机协同对抗多目标任务决策数学模型是贴切的;
- 2) 利用静态双矩阵博弈算法, 能够求解出博弈模型的纳什均衡解;
- 3) 通过对多机协同对抗多目标典型算例的计算与分析, 可以初步确认任务决策结果基本合理。

参考文献:

[1] Arie ("Arik") Yavnai The process ofUCAV autonomy level selection[Z] . The World's Largest Unmanned Systems Symposium and Exhibition 2003 1-13.

[2] MajDoug Decker Establishment of Decision Factors in Sup

- port of Cooperative Wide Area Search and Engagement [A]. 42th IEEE Conference on Decision and Control (CDC 03) [C]. 2003: 3555–3560.
- [3] Gratch J Hill R. Continuous Planning and Collaboration for Command and Control in Joint Synthetic Battle spaces [A]. Proceedings of the Sixth Conference on Computer Generated Forces and Behavioral Representation [C]. STRICOM -. \ DM SO, 1999.
- [4] Barbato G. Uninhabited Combat Air Vehicle Controls and Displays for Suppression Enemy Air Defenses [J]. CSER IAC Gateway 2000 XI 1–4.
- [5] Kuo-Chi Lin. Robust control of a swarm of UCAV [J]. Enabling technologies for simulation science VI, 2002: 108–115.
- [6] Manfred Lehnigk. UCAVs for Indirect Fire Precision Attack [A]. The World's Largest Unmanned Systems Symposium and Exhibition 2002: 4.
- [7] 黄家成, 谢奇峰. 基于遗传算法的协同多目标攻击空战决策方法 [J]. 火力与指挥控制, 2004 29(1): 49–52.
- [8] 李林森, 佟明安. 协同多目标攻击空战决策及其神经网络实现 [J]. 航空学报, 1999 20(4): 309–312.
- [9] 汤琼, 杨东勇. 基于协作协进化的多智能体机器人协作研究 [J]. 计算机工程与应用, 2004 (28): 64–66.
- [10] 王刚, 赵海, 魏守智. 基于威胁博弈理论的决策级融合模型 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2004 25(1): 32–35.
- [11] 李振龙, 陈德望. 交通信号区域协调优化的多智能体博弈模型 [J]. 公路交通科技, 2004 21(1): 85–88.
- [12] 李振龙. 基于 Stackelberg 博弈的动态用户最优配流和信号控制 [J]. 控制理论与应用, 2005 22(3): 353–358.
- [13] 郑友泉, 陆明泉, 冯振明. TCP Reno Vegas 算法的进化博弈模型 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002 42(7): 970–973.
- [14] 叶俊, 刘贤德, 韩露. 基于博弈策略强化学习的函数优化算法 [J]. 计算机工程与应用, 2004 (17): 67–68.
- [15] 刘翔, 彭霏. 基于协同 ERP 的群体决策支持系统集成化研究模型 [J]. 计算机工程, 2004 30(13): 116–118.

Mission Decision making Method of Multi-aircraft Cooperative Attack Multi-object Based on Game Theory Model

YAO Zong-xin^{1,2}, LIM ing^{1,2}, CHEN Zong-ji

(1 Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;

2 Shenyang Aircraft Design and Research Institute, Shenyang 110035, China)

Abstract Based on the characteristics of multi-aircraft cooperative attack multi-object entirely information static game model is established by selecting attack combination mode as a strategy set and specifying situation analyzing quantitative result as a payment function. A mission decision making method is formed by working out equilibrium result of game model and referencing any combat experience. The mission decision-making method is validated by giving an example of UCAV swarm carries out mission of SEAD.

Key words multi-aircraft cooperative; attack multi-object; mission decision making; game theory