

doi: 10.7690/bgzd.2014.03.005

无人机协同作战的目标分配算法研究

郑晓辉

(中国人民解放军 94907 部队 58 分队, 南昌 330013)

摘要: 针对当前无人机作战能力不强、实战经验不足、不能进行高强度空战的问题, 对无人机所处的战场态势进行评估。在综合考虑了我机攻击态势和敌方抗击能力 2 个主要因素的基础上, 采用威胁指数法, 以单机对敌的优先权为基础, 选择打击威胁度高的目标。增加了地面目标的威胁, 并根据基于态势的目标分配方法实现目标分配, 最大限度地保证我方无人机的安全。仿真结果表明: 该方法较好地解决了当前无人机协同作战的目标分配问题, 最大限度地发挥了无人机协同作战的效能。

关键词: 协同作战; 态势评估; 目标分配

中图分类号: TJ85 **文献标志码:** A

Research on Target Assignment Algorithm for Multi-UAV Cooperative Combat

Zheng Xiaohui

(No. 58 Unit, No. 94907 Army of PLA, Nanchang 330013, China)

Abstract: Multi-UAV has weak operational capability, lacking of combat experience, and cannot carry out high-strength air combat. Aimed at these problems, the battlefield situation of the UAV was evaluated. Based on considering the two main factors of our attacking situation and the enemy's fighting ability, the highest threat target was hit firstly by using the threat index algorithm in single combat advantage. Then, the target threat from the ground was increased. Based on the situation, a method of target assignment was introduced to achieve target assignment, and the safety of our UAV was guaranteed maximum. The simulation results show that the method can well solve the current problems of the target assignment algorithm for Multi-UAV cooperative combat, and maximize the UAV cooperative combat effectiveness.

Keywords: cooperative combat; situation assessment; target assignment

0 引言

基于日益突出的作战优势, 无人机正逐步成为一支重要的空中作战力量。无人机协同作战是军事发展的必然趋势, 而实现无人机协同作战的自主控制, 需要首先解决目标威胁实时评估、任务目标分配和攻击排序^[1-5]等无人机自主决策问题。

现阶段, 无人机作战能力还不强, 实战经验还不足, 还不能进行高强度的空战。笔者在基于攻击区计算的基础上, 采用威胁指数法^[6], 对无人机所处的战场态势进行评估。无人机协同作战在完成态势评估后, 必须立即进行目标分配。目前, 常用的目标分配方法有: 自主优先权的分配和协同优先权的分配^[7-9], 这些目标分配方法考虑的对象都是空中目标。在目标分配时, 笔者在考虑敌机对我方无人机威胁的同时, 增加了地面目标的威胁, 并在态势评估的基础上, 进行无人机协同作战的目标分配, 使得无人机协同作战的战场态势更全面, 最大限度地保证我方无人机的安全。

1 战场态势评估

由于今后一段时间内无人机的自主化程度还不

会很高, 协同作战能力还不会很强, 笔者依据无人机在攻击区内的数据参数来分析无人机的态势, 综合考虑了无人机态势评估过程中的 2 个主要因素: 我机攻击态势和敌方抗击能力。

1.1 我机攻击态势指数

无人机攻击态势可分为对地攻击态势和对空攻击态势。我机攻击态势指数中包括 3 个关键因素: 我机和目标双方速度矢量的方向(角度), 双方的相对距离和双方的高度差^[10]。如图 1 所示, v_R 为我机速度矢量, v_B 为目标速度矢量, 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), r 表示我机和目标之间的相对距离。

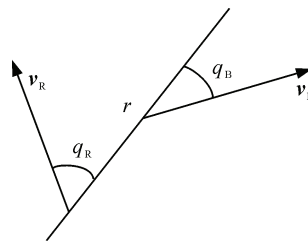


图 1 攻击态势示意图

收稿日期: 2013-11-05; 修回日期: 2013-12-11

作者简介: 郑晓辉(1976—), 男, 湖北人, 硕士, 工程师, 从事空天一体信息作战研究。

分别定义角度威胁指数 T_a 、距离威胁指数 T_r 和高度威胁指数 T_h 如式 (1) ~ 式 (3)^[11]:

$$\text{角度威胁指数: } T_a = \frac{(|q_B| + |q_R|)}{2\pi} \quad (1)$$

对于地面静态目标, 认为 $q_B = 0$ 。

距离威胁指数:

$$T_r = \begin{cases} 0.5 & r_i \leq rm, r_i \leq rmt_i \\ 0.5 - 0.2 \left(\frac{r_i - rmt_i}{rm - rmt_i} \right) & rmt_i < r_i < rm \\ 1.0 & rmt_i > r_i > rm \\ 0.8 & \max(rm, rmt_i) < r_i < rr \end{cases} \quad (2)$$

高度威胁指数:

$$T_h = \begin{cases} 1 & h < 3000 \text{ m} \\ 1 - (h - 3000) / 30000 & 3000 \text{ m} \leq h \leq 30000 \text{ m} \\ 0.1 & h > 30000 \text{ m} \end{cases} \quad (3)$$

其中: r_i 为目标距离, rmt_i 为目标的攻击距离; rm 为我机导弹最大射程; rr 为我机雷达最大跟踪距离; h 为我机的高度。

事实表明: 在具有角度优势的情况下, 相对距离越大, 则高度威胁越小, 优势越小; 相对距离越小, 则高度威胁越大, 优势越大。因此, 角度威胁因子、距离威胁因子和高度威胁因子宜处理为相乘的关系^[12]。则我机攻击态势威胁指数 T 可表示为:

$$T = T_a \times T_r \times T_h \quad (4)$$

1.2 敌方抗击能力指数

敌方抗击能力可分为敌方防空能力和敌机空战能力。在不考虑我机对抗影响的情况下, 敌方抗击能力指数可转化为对地攻击中敌方防空能力或对空攻击中敌机空战能力的效能评估。一般可用与防空或空战有关的 7 个主要因素来衡量防空或空战能力: 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。则敌方对我无人机的抗击能力指数 C ^[13] 可表示为

$$C = [\ln B + \ln(\sum A_1 + 1) + \ln(\sum A_2)] \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \varepsilon_4 \quad (5)$$

式中: B 为机动性参数; A_1 为火力参数; A_2 为探测目标能力参数; 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。

平时, 可根据式 (5) 计算出敌方各种武器装备的抗击能力指数, 形成数据库。在无人机侦察组及时获得敌方的新武器特征及新老装备的更替情况后, 我们可适时地根据敌方武器装备情况更新数据库, 需要时从新数据库中调出相应的敌抗击能力指

数, 并由数据通信系统把它传递给参战的无人机。

1.3 总的态势指数

由于我机攻击态势指数与敌方抗击能力指数存在着较大的差别, 因此首先要对相关数据进行处理。这里取敌方抗击能力指数的相对值 $T_C = C_i / \max(C_i)$, 综合考虑我机攻击态势和敌方抗击能力的影响, 得出敌方对我机总的威胁指数^[14]为:

$$W_i = b_1 \times T_C + b_2 \times T_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

其中: W_i 为第 i 个敌方目标对我机的威胁指数; b_1 、 b_2 为权系数 ($0 \leq b_1, b_2 \leq 1$), 通常可取 $b_1 = 0.5$, $b_2 = 0.5$ 。

2 基于态势的目标分配

无人机协同作战的主要威胁来自于空中和地面, 基于态势的无人机协同作战目标分配, 要以单机对敌的优先权为基础, 选择打击威胁度高的目标, 同时没有目标被重复分配, 最大限度地发挥无人机协同作战的效能。假设我方 m 架无人机协同攻击敌方 n 个威胁目标, 目标分配步骤可表述如下:

1) 计算各架无人机的攻击态势指数, 生成攻击态势矩阵 T

$$T = \begin{bmatrix} T_{11} & \cdots & T_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ T_{m1} & \cdots & T_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中 T_{ij} 是第 i 架无人机对第 j 个目标的攻击态势指数。

2) 计算各个目标相对于各架无人机的威胁指数, 生成 n 个目标对 m 架无人机的威胁向量 W :

$$W = \{W_1, \dots, W_m\} \quad (8)$$

其中威胁指数由大到小排列。

3) 确定定向量 W 中第一个元素对应的第 y 个目标。

4) 在矩阵 T 的第 y 列查找到最小元素, 设为 T_{xy} 。

5) 将第 y 个目标分配给第 x 架无人机。

6) 删除矩阵 T 中的第 y 列和向量 W 中第 y 个目标对应的元素。

7) 如果分配给某架无人机的目标数量等于该机的多目标攻击能力限制或者挂载的导弹数目, 则该架无人机退出目标分配, 删除矩阵 T 中的第 i 行即 T_i 。

8) 复步骤 3)~7), 直至删除矩阵 T 中的全部元素, 至此, 目标分配过程结束。

3 算例

现假设我方有 3 架无人机, 分别记为 UAV1、UAV2、UAV3, 飞行高度为 5 000 m, 10 000 m, 15 000 m, 所携带的武器可以同时攻击 6 个目标, 最大射程为 80 km。现有 6 个待攻击目标, 2 个固定指挥所, 2 个防空导弹车, 2 架预警机, 分别给它

们编号为 1~6, 目标均在编队 UAV 的火控雷达跟踪范围内。其中固定指挥所的对空作战能力为 5, 对空攻击距离为 20 km; 防空导弹车的对空作战能力为 20, 对空攻击距离为 100 km; 预警机的对空作战能力为 10, 对空攻击距离为 40 km。UAV 攻击态势如表 1~表 3。

表 1 UAV1 攻击态势

目标	目标类型	q_B/rad	q_R/rad	r_i/km	T_a	T_r	T_h	T_i	T_c	W_i
1	指挥所	0	-0.223 0	98.328 5	0.035 5	0.800 0	0.933 3	0.026 5	0.250 0	0.138 3
2	指挥所	0	-0.235 2	90.672 1	0.037 4	0.800 0	0.933 3	0.027 9	0.250 0	0.139 0
3	导弹车	2.165 0	-0.552 4	86.267 3	0.432 5	1.000 0	0.933 3	0.403 7	1.000 0	0.701 9
4	导弹车	2.248 6	-0.585 2	84.112 0	0.451 0	1.000 0	0.933 3	0.420 9	1.000 0	0.710 5
5	预警机	-1.352 5	-0.824 6	20.361 8	0.346 5	0.500 0	0.933 3	0.161 7	0.500 0	0.330 9
6	预警机	-1.068 8	-0.525 8	25.483 2	0.253 8	0.500 0	0.933 3	0.118 4	0.500 0	0.309 2

表 2 UAV2 攻击态势

目标	目标类型	q_B/rad	q_R/rad	r_i/km	T_a	T_r	T_h	T_i	T_c	W_i
1	指挥所	0	-0.201 6	90.116 4	0.032 1	0.800 0	0.766 7	0.019 7	0.250 0	0.134 9
2	指挥所	0	-0.329 1	91.552 3	0.052 4	0.800 0	0.766 7	0.032 1	0.250 0	0.141 1
3	导弹车	2.136 0	-0.612 8	85.362 8	0.437 5	1.000 0	0.766 7	0.335 4	1.000 0	0.667 7
4	导弹车	2.085 3	-0.503 4	83.495 0	0.412 0	1.000 0	0.766 7	0.315 9	1.000 0	0.658 0
5	预警机	-1.426 6	-0.863 0	22.416 5	0.364 4	0.500 0	0.766 7	0.139 7	0.500 0	0.319 9
6	预警机	-1.512 0	-0.946 8	30.852 6	0.391 3	0.500 0	0.766 7	0.150 0	0.500 0	0.325 0

表 3 UAV3 攻击态势

目标	目标类型	q_B/rad	q_R/rad	r_i/km	T_a	T_r	T_h	T_i	T_c	W_i
1	指挥所	0	-0.363 5	96.425 0	0.057 9	0.800 0	0.600 0	0.027 8	0.250 0	0.138 9
2	指挥所	0	-0.466 7	95.584 3	0.074 3	0.800 0	0.600 0	0.035 7	0.250 0	0.142 9
3	导弹车	2.201 0	-0.592 7	81.358 9	0.444 6	1.000 0	0.600 0	0.266 8	1.000 0	0.633 4
4	导弹车	2.867 6	-0.683 9	84.155 3	0.565 3	1.000 0	0.600 0	0.339 2	1.000 0	0.669 6
5	预警机	-1.315 0	-0.801 6	25.721 6	0.336 9	0.500 0	0.600 0	0.101 1	0.500 0	0.300 6
6	预警机	-1.525 5	-0.984 7	32.526 0	0.399 5	0.500 0	0.600 0	0.119 9	0.500 0	0.310 0

由式 (1)~式 (6), 可得出攻击态势矩阵

$$T = \begin{bmatrix} 0.0265 & 0.0279 & 0.4037 & 0.4209 & 0.1617 & 0.1184 \\ 0.0197 & 0.0321 & 0.3354 & 0.3159 & 0.1397 & 0.1500 \\ 0.0278 & 0.0357 & 0.2668 & 0.3392 & 0.1011 & 0.1199 \end{bmatrix}$$

威胁向量 W :

$$W = \{W_{14}, W_{13}, W_{34}, W_{23}, W_{24}, W_{33}, W_{15}, W_{26}, W_{25}, W_{36}, W_{16}, W_{35}, W_{32}, W_{22}, W_{12}, W_{31}, W_{11}, W_{21}\} = \{0.710 5, 0.701 9, 0.669 6, 0.667 7, 0.658 0, 0.633 4, 0.330 9, 0.325 0, 0.319 9, 0.310 0, 0.309 2, 0.300 6, 0.142 9, 0.141 1, 0.139 0, 0.138 9, 0.138 3, 0.134 9\}$$

通过计算, 最终的分配结果依次是:

$$\begin{matrix} \text{UAV 2} \rightarrow 4 & \text{UAV 3} \rightarrow 3 & \text{UAV 3} \rightarrow 5 \\ \text{UAV 1} \rightarrow 6 & \text{UAV 1} \rightarrow 2 & \text{UAV 2} \rightarrow 1 \end{matrix}$$

4 仿真

基于态势的目标分配, 是以单机对敌的优先权为基础, 最大限度地发挥无人机协同作战的效能, 保证我方飞机总体优势最大化。引入对策论模型^[15], 算例中的目标分配问题可以描述如下:

$$Z = \max \left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m T_{ij} \alpha_{ij} \right)$$

$$\text{s.t. } \alpha_{ij} = 0, 1,$$

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{ji} \leq \beta_i,$$

$$\sum_{i=1}^m \alpha_{ij} = 1,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} = \min(n, \sum_{i=1}^m \beta_i)$$

式中: $T = \begin{bmatrix} T_{11} & \cdots & T_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ T_{m1} & \cdots & T_{mn} \end{bmatrix}$ 为我方的攻击态势矩阵;

$\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$ 为我方飞机多目标攻击能量向量; β_i 表示我方第 i 架飞机可同时攻击敌方目标数;

$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ \alpha_{m1} & \cdots & \alpha_{mn} \end{bmatrix}$ 为我方飞机的目标分配矩阵,

$\alpha_{ij} = 1$ 表明敌方第 j 个目标分配给我方第 i 架飞机进行攻击。

根据算例中的我方攻击态势矩阵, 利用 lingo 8.0 软件编程求解, 可得出分配结果矩阵: