

引用格式:陈侠,乔艳芝.多无人机协同打击任务分配方法[J].电光与控制,2018,25(6):20-24. CHEN X, QIAO Y Z. Task allocation method for multi-UAV cooperative combat[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(6):20-24.

多无人机协同打击任务分配方法

陈侠, 乔艳芝

(沈阳航空航天大学, 沈阳 110136)

摘要: 针对多无人机任务分配问题,给出了一种新方法。首先建立了无人机的能力函数,然后通过能力函数的雅可比矩阵,给出多无人机协同打击位置和无人机俯仰角的计算方法;进而建立了无人机毁伤代价指标函数、航程代价指标函数和价值收益指标函数,给出了多无人机协同打击任务的分配方法,最后进行了仿真验证。仿真结果表明:在多无人机协同打击任务分配中,考虑能力函数的分配方案与未考虑的方案相比,获得了更大的目标收益值,提高了多无人机协同打击能力。

关键词: 多无人机; 协同任务分配; 能力函数; 雅可比矩阵

中图分类号: V279; TP249 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2018.06.005

Task Allocation Method for Multi-UAV Cooperative Combat

CHEN Xia, QIAO Yan-zhi

(Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: A new method is given for task allocation of multiple Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Firstly, the capability function of the UAV is established, and the methods for calculating the multi-UAV cooperative attacking position and the pitch angle of the UAV are given by using the Jacobian matrix of capability function. The UAV's damage cost index function, voyage cost index function and income value index function are established. The dynamic task allocation method for multi-UAV cooperative combat is presented. A simulation experiment has been conducted, and the result shows that: compared with the task allocation methods not considering the capability function, our method obtains greater target income value and can improve the multi-UAV cooperative attacking capability.

Key words: multiple unmanned aerial vehicles; collaborative task allocation; capability function; Jacobian matrix

0 引言

多机协同指的是多架无人机通过相互配合、协作的作战方式执行任务^[1],具有同时攻击多个敌方目标和能提高杀伤概率的优点。在多无人机执行任务的过程中,无人机之间的妥善协调问题是其可否成功完成任务的重要因素之一^[2]。通过选择合理的决策策略使得多无人机之间相互协调完成复杂的任务,目前是无机领域研究的热点问题^[3]。近十多年来,这方面的研究已经取得了一些成果^[4-11]。文献[4]以双层规划

为基础,提出了无人机协同攻击目标分配模型;文献[5]对环境中威胁的描述比较简单,但是考虑了飞机能力的裕度约束,从而建立了多无人机任务分配模型;文献[6]在多机任务协调问题中引入了买卖合同机制。虽然关于多无人机协同任务分配的研究已经取得了一些研究成果,但在已有的文献中,建立的多机协同任务分配模型没有考虑多无人机协同打击的能力问题,也没有考虑目标需要获得被打击的能力值问题,计算航程代价均考虑始发点与目标点之间的航程,并没有考虑无人机发射导弹的航程,建立的多无人机作战模型还不是很完善。而在多机器人任务分配中,考虑机器人能力函数的研究成果吸引了越来越多学者的关注^[12-13],文献[12]将效用函数应用于多机器人系统任务分配策略中;文献[13]提出了一种基于机器人效用函数的多机器人系统任务分配新方法。但迄今为止,关于多无人机协同打击能力的任务分配问题尚无文献

收稿日期:2017-03-23

修回日期:2018-01-24

基金项目:国家自然科学基金青年基金(61503255);沈阳科技资助项目(14042200,14231129)

作者简介:陈侠(1962—),女,辽宁新民人,博士,教授,硕导,研究方向为无人机任务规划。

报道。本文通过建立无人机的能力函数及其雅可比矩阵,给出了多无人机协同打击位置和无人机俯仰角的计算方法,提出了多无人机协同打击任务的动态任务分配方法,仿真结果表明:考虑多无人机协同打击能力的任务分配与未考虑的分配方案相比,可获得更大的目标收益值,提高了多无人机协同打击能力。

1 无人机协同能力函数的建立

能力函数指的是根据无人机所执行任务的主要要求和形式对目标释放的能量建立的具体量化函数。在无人机执行侦察和攻击任务时,为了最大可能地发挥作用,无人机与目标之间的距离、方位和所携带武器的发射距离、方位等都需要重点考虑。所以,建立的能力函数与距离和方位等因素都有关系,将单无人机的能力函数相加就是群无人机的能力函数。为方便计算,只考虑无人机与目标点之间的距离和角度两个因素,当无人机与目标点的距离和角度都满足要求时,无人机就能释放最大的能力。将无人机的位置信息和目标点信息分别存储在 $n \times 3$ 和 $m \times 3$ 矩阵中, n 和 m 分别为无人机和目标的数量。无人机与目标的初始位置矩阵为

$$\begin{cases} \mathbf{P}_{\text{UAV}} = \begin{bmatrix} X_{U1} & Y_{U1} & Z_{U1} \\ X_{U2} & Y_{U2} & Z_{U2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{Un} & Y_{Un} & Z_{Un} \end{bmatrix} \\ \mathbf{P}_{\text{Target}} = \begin{bmatrix} X_{T1} & Y_{T1} & Z_{T1} \\ X_{T2} & Y_{T2} & Z_{T2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{Tm} & Y_{Tm} & Z_{Tm} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

无人机 i 与目标 j 的距离 d_{ij} 描述为

$$d_{ij} = \sqrt{(X_{Ui} - X_{Tj})^2 + (Y_{Ui} - Y_{Tj})^2 + (Z_{Ui} - Z_{Tj})^2} \quad (2)$$

如图1所示,建立地面坐标系,坐标原点为 O , U 为无人机, U' 为无人机在 XOY 平面的投影, T 为目标,无人机的视线和 U' 与目标连线的夹角 θ_{ij} (俯仰角) 描述为^[14]

$$\theta_{ij} = \arctan \frac{z_{Ui}}{\sqrt{d_{ij}^2 - z_{Ui}^2}} \quad (3)$$

假定能力函数的最大值为1,目标 j 获得无人机的能力函数 B_i 为

$$\begin{cases} B_i^1 = \begin{cases} r_i/d_{ij} & d_{ij} > r_i \\ d_{ij}/r_i & d_{ij} < r_i \end{cases} \\ B_i^2 = \begin{cases} \theta_i/\theta_{ij} & \theta_{ij} > \phi_i \\ \theta_{ij}/\theta_i & \theta_{ij} < \phi_i \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

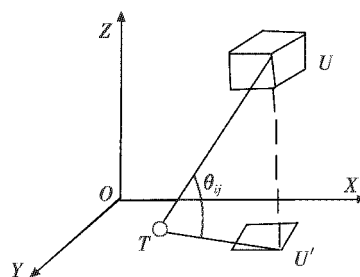


图1 空战态势图

Fig. 1 Air combat situation

2 多无人机协同任务分配模型的建立

以下两个方面的因素是进行多无人机任务分配时需要重点考虑的:1)在攻击敌方目标的过程中我方付出的代价,我方代价由被对方防空火力系统攻击所受到的毁伤代价和攻击目标时我方的燃油代价两部分组成;2)作战时对敌方目标的整体打击和毁伤效果。

2.1 目标价值收益指标函数

目标价值收益是指我方无人机攻击敌方目标对敌方目标造成的损耗。令无人机对目标的杀伤概率矩阵为 $\mathbf{P} = [P_1 \ P_2 \ \dots \ P_m]$,第 i 架无人机对目标的杀伤概率为

$$P_i = 1 - (1 - \eta_i)^{n_i} \quad (5)$$

式中: η_i 为第 i 架无人机对目标的单发命中概率,且无人机对目标打击是相互独立的事件; n_i 为第 i 架无人机携带的武器数。则第 i 架无人机攻击第 j 个目标时所产生的期望价值为

$$R = P_i x_{ij} v_j^j \quad (6)$$

式中: x_{ij} 是二值决策变量, $x_{ij} = 1$ 表示第 i 架无人机攻击第 j 个目标, $x_{ij} = 0$ 表示第 i 架无人机不攻击第 j 个目标; v_j^j 表示第 j 个目标的价值信息。

2.2 毁伤代价指标函数

假设各目标对第 i 架无人机造成毁伤为相互独立的事件, $P'_{ij}(q+1)$ 为在 $t_q < t < t_{q+1}$ 期间第 i 架无人机在攻击第 j 个目标过程中遭受的毁伤概率,可表示为

$$P'_{ij}(q+1) = 1 - p'_{ij}(q) \prod_{n=1}^M (1 - \delta_n(q+1)) \quad (7)$$

式中: M 是敌方防空火力的数量; $P'_{ij}(q)$ 是 $t_{q-1} < t < t_q$ 时刻无人机的毁伤概率,初始值为1; $\delta_n(q+1)$ 是在 $t_q < t < t_{q+1}$ 期间无人机被敌方防空火力 j 摧毁的概率,将 $\delta_n(q+1)$ 表示为

$$\delta_n(q+1) = \begin{cases} (1 - d_{ij}/e)\theta & d_{ij} < e \\ 0 & d_{ij} > e \end{cases} \quad (8)$$

式中: d_{ij} 为无人机 i 与目标 j 的距离; e 为敌方防空火力的有效射程; $\theta \in [0, 1]$ 是当敌方防空火力与无人机接触时摧毁无人机的效能。在作战过程中,无人机受到

来自敌方防空火力的攻击,该无人机总的毁伤代价损失为

$$C_1 = P'_{ij} x_{ij} v_a^i \quad (9)$$

式中, v_a^i 为第 i 架无人机的价值。

2.3 航程代价指标函数

无人机执行任务的航程代价与无人机执行任务期间飞行的路径有正相关的关系,则航程代价可表示为

$$C_2 = \frac{d_i}{d_{\max}} x_{ij} \quad (10)$$

式中: d_i 为无人机 i 实际飞行的航程,即无人机 i 初始位置与打击位置之间的距离; d_{\max} 为所有无人机 i 中实际飞行的最大航程。

3 多无人机协同任务分配方法

已知无人机的初始位置和目标的的位置后,就可将无人机在空中任意一点的能力量化,从而计算多无人机协同打击能力的决策位置和角度,计算各个方案总体目标收益函数,实现最优分配。

3.1 雅可比矩阵

雅可比矩阵可以将无人机的运动变化和能量函数联系起来,能量函数的雅可比矩阵可表示为

$$\begin{cases} \mathbf{J}_{\text{Jacobi}}^1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial B_1^1}{\partial X_{U1}} & \frac{\partial B_1^1}{\partial Y_{U1}} & \frac{\partial B_1^1}{\partial Z_{U1}} & \dots & \frac{\partial B_1^1}{\partial X_{Un}} & \frac{\partial B_1^1}{\partial Y_{Un}} & \frac{\partial B_1^1}{\partial Z_{Un}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial B_m^1}{\partial X_{U1}} & \frac{\partial B_m^1}{\partial Y_{U1}} & \frac{\partial B_m^1}{\partial Z_{U1}} & \dots & \frac{\partial B_m^1}{\partial X_{Un}} & \frac{\partial B_m^1}{\partial Y_{Un}} & \frac{\partial B_m^1}{\partial Z_{Un}} \end{bmatrix} \\ \mathbf{J}_{\text{Jacobi}}^2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial B_1^2}{\partial X_{U1}} & \frac{\partial B_1^2}{\partial Y_{U1}} & \frac{\partial B_1^2}{\partial Z_{U1}} & \dots & \frac{\partial B_1^2}{\partial X_{Un}} & \frac{\partial B_1^2}{\partial Y_{Un}} & \frac{\partial B_1^2}{\partial Z_{Un}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial B_m^2}{\partial X_{U1}} & \frac{\partial B_m^2}{\partial Y_{U1}} & \frac{\partial B_m^2}{\partial Z_{U1}} & \dots & \frac{\partial B_m^2}{\partial X_{Un}} & \frac{\partial B_m^2}{\partial Y_{Un}} & \frac{\partial B_m^2}{\partial Z_{Un}} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (11)$$

目标 j 获得的能力函数 B_i 相对于无人机 i 的坐标偏导数为

$$\frac{\partial B_i^1}{\partial X_{Ui}} = \begin{cases} \frac{-r_i X_{Ui}}{[(X_{Ui} - X_{Tj})^2 + (Y_{Ui} - Y_{Tj})^2 + (Z_{Ui} - Z_{Tj})^2]^{3/2}} & d_{ij} \geq r_i \\ \frac{(X_{Ui} - X_{Tj}) \cdot [(X_{Ui} - X_{Tj})^2 + (Y_{Ui} - Y_{Tj})^2 + (Z_{Ui} - Z_{Tj})^2]^{-1/2}}{r_i} & d_{ij} < r_i \end{cases} \quad (12)$$

$$\frac{\partial B_i^1}{\partial Y_{Ui}} = \begin{cases} \frac{-r_i Y_{Ui}}{[(X_{Ui} - X_{Tj})^2 + (Y_{Ui} - Y_{Tj})^2 + (Z_{Ui} - Z_{Tj})^2]^{3/2}} & d_{ij} \geq r_i \\ \frac{(Y_{Ui} - Y_{Tj}) \cdot [(X_{Ui} - X_{Tj})^2 + (Y_{Ui} - Y_{Tj})^2 + (Z_{Ui} - Z_{Tj})^2]^{-1/2}}{r_i} & d_{ij} < r_i \end{cases} \quad (13)$$

$$\frac{\partial B_i^1}{\partial Z_{Ui}} = \begin{cases} \frac{-r_i Z_{Ui}}{[(X_{Ui} - X_{Tj})^2 + (Y_{Ui} - Y_{Tj})^2 + (Z_{Ui} - Z_{Tj})^2]^{3/2}} & d_{ij} \geq r_i \\ \frac{(Z_{Ui} - Z_{Tj}) \cdot [(X_{Ui} - X_{Tj})^2 + (Y_{Ui} - Y_{Tj})^2 + (Z_{Ui} - Z_{Tj})^2]^{-1/2}}{r_i} & d_{ij} < r_i \end{cases} \quad (14)$$

$$\frac{\partial B_i^2}{\partial X_{Ui}} = \begin{cases} \frac{z_i \theta_i X_{Ui}}{d_{ij}^2 \sqrt{d_{ij}^2 - z_i^2} (\arctan \frac{z_i}{d_{ij}^2 - z_i^2})^2} & \theta_{ij} \geq \phi_i \\ -\frac{z_i X_{Ui}}{\theta_i d_{ij}^2 \sqrt{d_{ij}^2 - z_i^2}} & \theta_{ij} < \phi_i \end{cases} \quad (15)$$

$$\frac{\partial B_i^2}{\partial Y_{Ui}} = \begin{cases} \frac{z_i \theta_i Y_{Ui}}{d_{ij}^2 \sqrt{d_{ij}^2 - z_i^2} (\arctan \frac{z_i}{d_{ij}^2 - z_i^2})^2} & \theta_{ij} \geq \phi_i \\ -\frac{z_i Y_{Ui}}{\theta_i d_{ij}^2 \sqrt{d_{ij}^2 - z_i^2}} & \theta_{ij} < \phi_i \end{cases} \quad (16)$$

$$\frac{\partial B_i^2}{\partial Z_{Ui}} = \begin{cases} \frac{z_i \theta_i Z_{Ui}}{d_{ij}^2 \sqrt{d_{ij}^2 - z_i^2} (\arctan \frac{z_i}{d_{ij}^2 - z_i^2})^2} & \theta_{ij} \geq \phi_i \\ -\frac{z_i Z_{Ui}}{\theta_i d_{ij}^2 \sqrt{d_{ij}^2 - z_i^2}} & \theta_{ij} < \phi_i \end{cases} \quad (17)$$

3.2 多无人机协同打击位置计算

能力函数由无人机的位置和角度决定,能力函数的变化与位置和角度的关系为

$$[\dot{B}_1 \dots \dot{B}_m]^T = \mathbf{J}_{\text{Jacobi}} [\dot{X}_{U1} \dot{Y}_{U1} \dot{Z}_{U1} \dots \dot{X}_{Un} \dot{Y}_{Un} \dot{Z}_{Un}]^T \quad (18)$$

假设 B_j^d 为目标 j 需要获得的理想能力,当前能力值 B_j 与理想能力 B_j^d 的差值为能力函数的理想变化。若有 n 架无人机, m 个目标,那么每个目标的理想的能力值约为 n/m 。能力函数的理想值算式为

$$[\dot{X}_{U1} \dot{Y}_{U1} \dot{Z}_{U1} \dots \dot{X}_{Un} \dot{Y}_{Un} \dot{Z}_{Un}]^T = \mathbf{J}_{\text{Jacobi}}^+ \left(\begin{bmatrix} B_1^d \\ \vdots \\ B_m^d \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_m \end{bmatrix} \right) \quad (19)$$

式中, $\mathbf{J}_{\text{Jacobi}}^+$ 为 $\mathbf{J}_{\text{Jacobi}}$ 的伪逆。因 $\mathbf{J}_{\text{Jacobi}}$ 不是方阵,不可以简单的求逆,只能通过求伪逆来满足不确定性^[9],即

$$\mathbf{J}^+ = \mathbf{J}^T (\mathbf{J}\mathbf{J}^T)^{-1} \quad (20)$$

式中: \mathbf{J}^+ 表示伪逆; \mathbf{J}^T 为雅可比矩阵的转置。若多无人机协同打击不能完成目标的能力值时,需要更新无人机的位置和角度。根据式(19)得到的无人机的理想变化值 \dot{X}_{Ui} , \dot{Y}_{Ui} , \dot{Z}_{Ui} , 设时间步长 Δt , 可以求出无人机新的位置和角度,无人机坐标更新方程为

$$\begin{bmatrix} X_{U_i}[k+1] \\ Y_{U_i}[k+1] \\ Z_{U_i}[k+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{U_i}[k] \\ Y_{U_i}[k] \\ Z_{U_i}[k] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{X}_{U_i} \\ \dot{Y}_{U_i} \\ \dot{Z}_{U_i} \end{bmatrix} \Delta t \quad (21)$$

3.3 多无人机协同打击位置与目标相对距离的计算

通过将无人机更新后的位置、角度坐标代入式(2)~(4),得到新的无人机能力值,按照式(1)~(4)及式(11)~(21),更新无人机位置和角度,经过*l*个时间步长,直到达到理想能力值*B_j^d*,得到打击位置各无人机的信息为(*x_{U_i}*,*y_{U_i}*,*z_{U_i}*),从而得到我方无人机与敌方目标的相对距离和角度为

$$\begin{cases} d_i = \sqrt{(x_{U_i} - X_T)^2 + (y_{U_i} - Y_T)^2 + (z_{U_i} - Z_T)^2} \\ \theta_i = \arctan \frac{z_{U_i}}{\sqrt{d_i^2 - z_{U_i}^2}} \end{cases} \quad (22)$$

3.4 多无人机协同打击任务的总体收益模型

多无人机任务分配模型的总体目标函数可表示为

$$J = \max(w_1 R - w_2 C_1 - w_3 C_2) \quad (23)$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad (24)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq h \quad (25)$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (26)$$

式中:*w₁*为价值收益指标;*w₂*为毁伤代价权重;*w₃*为航程代价指标权重。式(24)要求每架无人机每次最多分配给一个目标,式(25)要求最多*h*架无人机协同打击一个目标。

4 仿真实验

设4架无人机执行2个地面目标任务,*P_{UAV}* =

$$\begin{bmatrix} 4 & 4.5 & 3 \\ 4.2 & 4.6 & 3 \\ 4.5 & 4.5 & 3 \\ 4 & 4.3 & 3 \end{bmatrix}, P_{\text{target}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}, [B_1^d] = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, \text{假}$$

设我方无人机所携带武器数为[2 1 2 3],对目标的单发命中概率分别为[0.80 0.85 0.90 0.90],敌方防空火力的数量均为3。

4架无人机攻击2个目标,有6种方案,如表1所示。

表1 分配方案

Table 1 Allocation plan

	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5	方案6
分配矩阵	[1 2 3 4]	[1 3 2 4]	[1 4 2 3]	[2 3 1 4]	[2 4 1 3]	[3 4 1 2]

表1中,方案1的分配矩阵为[1 2 3 4],表示第1架和第2架无人机攻击目标1,第3架和第4架无人

机攻击目标2。以下方案类似。

假设无人机的雷达扫描半径为4.5 km,不考虑导弹速度的前提下,当无人机与目标的位置距离为4.5 km,且无人机与目标的夹角*φ_i*为90°时,无人机具有最大的打击能力,在其他位置,距离越靠近4.5 km,夹角越靠近90°时,打击能力越大。

下面采用3种方法给出多无人机分配方案。

方法1 通过式(21)更新无人机的位置,通过式(4)计算出多无人机协同打击位置能力值,然后分别通过式(6)、式(9)和式(10)计算目标价值收益、毁伤代价和航程代价,最后通过式(23)分别计算各个方案的收益值,最终得到各个方案收益值如表2所示。

表2 方法1的分配方案收益值

Table 2 Revenue value of the allocation scheme of Method 1

	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5	方案6
总收益	1.620 3	1.436 0	1.448 9	1.444 5	1.453 2	1.269 1

通过表2可以看出,方案1的收益值最大,即第1架和第2架无人机攻击目标1,第3架和第4架无人机攻击目标2。目标1被打击的能力值见图2,目标2被打击的能力值见图3。

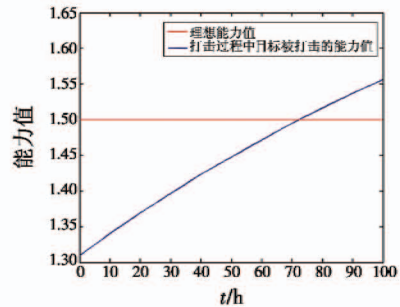


图2 目标1被打击的能力值

Fig. 2 The strike capability for Object 1

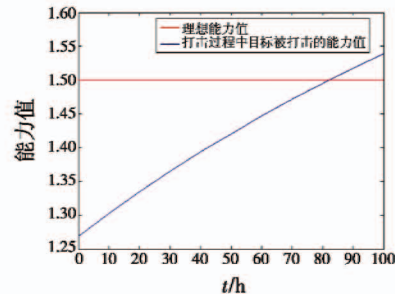


图3 目标2被打击的能力值

Fig. 3 The strike capability for Object 2

方法2 通过式(21)更新无人机的角度,通过式(4)计算出多无人机协同打击角度能力值,然后分别通过式(6)、式(9)和式(10)计算目标价值收益、毁伤代价和航程代价,最后通过式(23)分别计算各个方案的收益值,最终得到各个方案收益值如表3所示。

表 3 方法 2 的分配方案收益值

Table 3 Revenue value of the allocation scheme of Method 2

方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	
总收益	1.682 0	1.543 0	1.632 8	1.436 5	1.356 9	1.398 7

通过表 3 可以看出,方案 1 的收益值最大,即第 1 架和第 2 架无人机攻击目标 1,第 3 架和第 4 架无人机攻击目标 2。

方法 3 以往多无人机任务分配方法^[15]没有考虑多无人机打击位置能力函数,也没有考虑目标需要获得的能力值。按式(23)模型,得到各个方案收益值如表 4 所示。

表 4 方法 3 的分配方案收益值

Table 4 Revenue value of the allocation scheme of Method 3

方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	
总收益	1.320 8	1.314 6	1.313 9	1.323 4	1.316 7	1.310 5

第 4 种方案收益值最大,收益值为 1.323 4,即第 2 架和第 3 架无人机攻击目标 1,第 1 架和第 4 架无人机攻击目标 2。

将表 2、表 3 分别与表 4 对比可以看出:1) 方法 1 和方法 2 考虑了多无人机的协同打击能力函数;2) 方法 1 和方法 3、方法 2 和方法 3 的决策结果完全不同;3) 方法 1 的收益和方法 2 的收益均比方法 3 的收益大,即方法 1 的最大收益为 1.620 3,方法 2 的最大收益为 1.682 0,而方法 3 的最大收益为 1.323 4。因此,可以得出结论:在多无人机协同打击任务分配中,考虑能力函数与未考虑的分配方案相比,可获得更大的目标收益值,提高了多无人机协同打击能力。

5 结束语

通过建立无人机的能力函数及其雅可比矩阵,给出了多无人机协同打击位置和角度的计算方法,建立了多无人机协同打击任务分配模型,仿真结果表明:考虑多无人机协同打击能力的任务分配与未考虑的分配方案相比,可获得更大的目标收益值和毁伤效能,提高多无人机协同打击能力,是多无人机协同作战任务分配的一种技术探索尝试。

参 考 文 献

[1] 付昭旺,寇英信,黄文卿,等. 多机协同空战火力控制研究[J]. 电光与控制,2010,17(9):5-8.
 [2] JOHNSON L B, PONDA S S, CHOI H L, et al. Asynchronous decentralized task allocation for dynamic environments

[C]//Proceedings of the AIAA Infotech@Aerospace Conference, 2011. doi:10.2514/6.2011-1441.

- [3] 龙涛,沈林成,朱华勇,等. 面向协同任务的多UCAV分布式任务分配与协调技术[J]. 自动化学报,2007,33(7):731-737.
 [4] 刘毅,李为民,邢清华,等. 基于双层规划的攻击无人机协同目标分配优化[J]. 系统工程与电子技术,2010,32(3):579-584.
 [5] 魏铁涛,屈香菊. 多机协同与多目标分配任务规划方法[J]. 北京航空航天大学学报,2009,35(8):917-920.
 [6] 杜继永,张凤鸣,杨骥,等. 多UCAV协同任务分配模型及粒子群算法求解[J]. 控制与决策,2012,27(11):1751-1755.
 [7] 陈侠,胡永新,徐光延. 面向多无人机任务分配的二维编码粒子群算法[J]. 系统仿真学报,2013,25(12):3045-3049.
 [8] O'ROURKE K P, CARLTON W B, BAILEY T G, et al. Dynamic routing of unmanned aerial vehicles using reactive tabu search[J]. Military Operations Research, 2001, 6(1):5-30.
 [9] HARDER R W. A Java universal vehicle router in support of routing unmanned aerial vehicles air missions [D]. Ohio: Air Force Institute of Technology, 2000.
 [10] NYGARD K E, CHANDLER P R, PACHTER M. Dynamic network flow optimization models for air vehicle resource allocation [C]//Proceedings of the American Control Conference, Arlington, Texas, 2001:1853-1856.
 [11] ALIGHANBARI M. Task assignment algorithms for teams of UAVs in dynamic environments [D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2004.
 [12] 黎萍,杨宜民,练家乐. 基于效用函数的多机器人系统任务分配[J]. 计算机应用研究,2009,26(2):537-539.
 [13] 陈建平,苑召国,杨宜民. 基于机器人效用函数的多机器人系统任务分配[J]. 计算机应用研究,2010,27(4):1339-1341.
 [14] 李望西,黄长强,王勇. 三维空间空战态势评估角度优势建模与仿真[J]. 电光与控制,2012,19(2):21-25.
 [15] GIANLUCA A, STEFANO C, ALESSANDRO M. Decentralized deployment with obstacle avoidance for UAVs [C]//Proceedings of the 18th IFAC World Congress, Italy, 2011:12807-12812.