

多 UCAV 协同控制中的任务分配模型及算法*

霍霄华 陈 岩 朱华勇 沈林成

(国防科技大学 机电工程与自动化学院,湖南 长沙 410073)

摘要:任务分配是多 UCAV 协同控制的核心和有效保证。分析了影响目标价值毁伤、UCAV 损耗、任务消耗时间等三项关键战技指标的因素,综合考虑实战中多 UCAV 同时攻击同一目标和使用软杀伤武器这两种典型情况对 UCAV 执行任务的影响,建立了针对攻击任务的多 UCAV 协同任务分配模型,并应用粒子群算法求解。仿真结果验证了模型的合理性和算法的有效性。

关键词:无人作战飞机;任务分配;协同控制;粒子群优化

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Study on Task Allocation Model and Algorithm for multi-UCAV Cooperative Control

HUO Xiao-hua, CHEN Yan, ZHU Hua-yong, SHEN Lin-cheng

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Task allocation is one of the core steps to effectively exploit the capabilities of cooperative control of multi-UCAV. Factors that effect the three key tactical objects, target value damage, UCAV attritions and task expending time are analyzed. By integrating the two typical instances in combat, that is multi-UCAV attacking the same target simultaneously and using soft kill weapon systems, a multi-UCAV cooperation task allocation model for attacking task is formulated. A new algorithm based on the principles of particle swarm optimization is proposed. Simulation results indicate that the task allocation model formulated in this paper is rational and the PSO based algorithm is effective.

Key words: unmanned combat aerial vehicle; task allocation; cooperation control; particle swarm optimization

无人作战飞机(unmanned combat aerial vehicle, UCAV)是无人机和战斗机的结合,是下一代战斗机的发展方向^[1]。UCAV 能够完成各种复杂的攻势作战任务,如固定目标攻击、移动目标攻击、干扰、对敌防空压制、空空作战、战略攻击等^[2]。由于作战任务的多重性和复杂性,常使用多架 UCAV 协同作战^[7]。近年来,多机协同控制已经成为无人机领域一个研究热点^[2],而任务分配是多无人机协同控制的保障和基础^[3-7]。

多 UCAV 协同任务分配是指:在满足各项战术和技术指标的前提下,为了达到期望的作战目标,为每个 UCAV 分配任务,即确定哪个 UCAV 执行哪项任务^[4]。研究者们使用线性规划^[12]、动态网络流^[6]等方法对多 UCAV 任务分配问题进行建模,这些模型简单、易于实现,但目标函数过于简单,不能完全描述作战效果的关键指标。文献[4]以对目标的毁伤最大和我方损耗最小为任务分配的目标函数,较为全面地描述了多 UCAV 的作战目标,但没有考虑到 UCAV 执行任务的消耗时间这一重要因素,而完成任务的时间是反映作战效能的关键指标之一。文献[12]针对分布式的多 UCAV 协同控制,采用基于投标、竞标等市场机制的合同网方法,协调多个 UCAV 间的任务,具有通信量少、鲁棒性能好等优点,但各 UCAV 对自身收益和代价的评价局限于任务的平衡,没有考虑到自身的战术指标。任务分配属于 NP-完全问题^[3],求解困难,文献[3-4]分别采用遗传算法和粒子群优化算法对其求解,具有较强的鲁棒性和全局搜索能力。尤其是粒子群体算法易于实现、能够并发计算,因而受到广泛关注,文献[4]通过构造与可行

* 收稿日期:2005-12-28

基金项目:国家部委资助项目(5130801)

作者简介:霍霄华(1977—),女,博士生。

解对应的粒子,实现了粒子群算法在多UCAV协同任务分配中的应用,但其构造的粒子不能直接描述任务分配中的附加条件,不易扩展。此外,现有模型都是以一架UCAV攻击一个目标为假设条件,而在实际作战中,往往需要出动多架UCAV同时攻击一个目标,以有效地提高自身生存能力和作战效果。

1 任务分配问题建模

多UCAV协同任务分配是以整个UCAV编队的整体作战效能最优为目标的,而目标的价值毁伤(target value damage, TVD)、UCAV的损耗(UCAV attrition)和执行任务预计消耗时间(task expending time, TET)是评价作战效能的主要指标。本文首先分析了影响这三项指标的关键因素,分别建立了目标价值毁伤最大化模型、UCAV损耗最小化模型和任务消耗时间最短模型,进而深入分析了多UCAV协作攻击同一目标对任务执行效果的影响,最后,通过量纲转换和加权求和,将多目标优化问题转换为单一目标函数,建立了多UCAV的任务分配模型。

1.1 想定

假设由 N_U 架UCAV组成的飞机编队攻击地面 N_T 个不同目标,UCAV集合为 U ,目标集合为 T 。每架UCAV每次只攻击一个目标,并假设作战过程中UCAV保持匀速飞行,则可设决策变量为:

$$x_{ut} = \begin{cases} 1 & \text{第 } u \text{ 个 UCAV 分配给第 } t \text{ 个目标} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}, \quad x^{dj} = \begin{cases} 1 & \text{:UCAV 不使用欺骗设备和干扰设备} \\ 2 & \text{:UCAV 使用欺骗设备,不使用干扰设备} \\ 3 & \text{:UCAV 不使用欺骗设备,使用干扰设备} \\ 4 & \text{:UCAV 既使用欺骗设备,又使用干扰设备} \end{cases}$$

1.2 UCAV损耗最小化模型

在UCAV对目标进行攻击的同时,目标也对其进行反击,造成了UCAV的损耗。设第 u 架UCAV攻击目标 t 的生存概率为 PS_{ut} ,则 $a_{ut} = 1 - PS_{ut}$ 为其攻击该目标时的损耗。对UCAV进行分配任务,使得所有UCAV的损耗之和最小,即 $\min \sum_{i \in U} \sum_{j \in T} a_{ij} x_{ij}$ 。考虑到UCAV除携带数量有限的武器外,还挂载有其他设备,如诱饵、干扰设备(铝箔、电子干扰等)等,这些设备通过诱骗或干扰目标能够影响敌火力对我机的攻击,从而提高UCAV对目标的生存能力,增强UCAV对目标的杀伤效果,称之为软杀伤武器。用 PS_{ut}^{dj} 表示使用软杀伤武器的生存概率时,第 u 架UCAV攻击目标 t 的生存概率,则UCAV损耗最小化模型为 $\min \sum_{i \in U} \sum_{j \in T} a_{ij}^{dj} x_{ij}$,其中 $a_{ij}^{dj} = 1 - PS_{ij}^{dj}$ 。

当多架UCAV同时攻击同一目标时,如第 u 架和第 v 架UCAV同时攻击目标 t ,两架UCAV均被目标击毁的概率为 $(1 - PS_{ut}^{dj}) \cdot (1 - PS_{vt}^{dj})$,用这一概率来近似估计各UCAV被击毁的概率。设 U'_t 为分配给目标 t 的UCAV的集合,则UCAV的损耗降低为 $\prod_{i \in U'_t} (1 - PS_{it}^{dj})$ 。

1.3 目标价值毁伤最大化模型

各个敌方目标的军事重要程度不同,因此对不同目标实施攻击获得的收益也各不相同,用 V 来表示目标的价值,则摧毁目标 t 获得的收益为 V_t 。一般地,目标的价值由指挥人员预先设定,在作战过程中还可根据态势的变化和作战意图的更改动态调整。

UCAV实施攻击前,要先在任务区域内搜索和寻找目标,正确地发现和识别目标是开展攻击行动的基础,用 P_c 表示UCAV准确到达任务区域、发现目标以及正确识别出目标的概率。对同一目标使用不同武器实施打击,对目标造成的毁伤效果会大不相同。杀伤概率 PK 是武器的一个重要效能指标,可以通过历史数据分析或从武器效能数据库中查找得到,UCAV对目标的杀伤概率与其携带的武器类型紧密相关。综合考虑目标的价值、确认概率、杀伤概率、UCAV相对于目标的生存概率,则使用第 u 架UCAV攻击目标 t 时,收益为 $V_{ut}^{dj} = P_c \cdot PK_{ut} \cdot PS_{ut}^{dj} \cdot V_t$ 。为每架UCAV分配任务,使得总收益最大,即

$$\max \sum_{i \in U} \sum_{j \in T} V_{ij}^{dj} x_{ij}$$

对于大型目标往往需要多次打击才能达到预期的作战效果,而同时使用多架UCAV攻击该目标能够有效提高作战效果、降低风险。设分配给目标 t 的UCAV的集合为 U'_t ,其中某UCAV攻击该目标获得的收益为: $V_{ut}^{dj} = P_c \cdot PK_{ut} \cdot [1 - \prod_{i \in U'_t} (1 - PS_{it}^{dj})] \cdot V_t$,则所有UCAV协同攻击该目标的总收益为各UCAV攻击该目标收益的总和,且总收益不超出目标本身的价值 V_t 。

1.4 消耗时间最短模型

执行任务消耗时间包括达到目标时间、确认目标时间和攻击时间三部分。一般情况,UCAV攻击目标消耗的时间相对于UCAV到达任务区域的飞行时间数值较小,因而可以忽略攻击时间的影响。由于战场环境复杂多变,很难估计出UCAV对目标进行确认所消耗的时间,通常UCAV到达目标区域越早,发现和攻击目标就越早,所以用到达时间来近似估计UCAV执行任务消耗的时间。UCAV到达目标的时间与其距目标间的距离成正比,且UCAV与目标间的距离可以通过机载传感器直接测量获得,所以,可以采用UCAV与目标间的距离来衡量执行任务消耗时间。设第 u 架UCAV与目标 t 间的距离为 D_{ut} ,则消耗时间最小化模型为: $\min \sum_{i \in U} \sum_{j \in T} D_{ij} x_{ij}$ 。

1.5 任务分配模型

通过以上分析建立了多UCAV协同任务分配的多目标函数,通常情况下各目标函数间可能是冲突的,使得多目标优化问题不存在唯一的全局最优解。将多目标决策问题转换为单目标优化问题的常用方法是加权求和,即为各子目标函数赋予相应的权值,权值的大小体现了各子目标函数的重要程度,因此,加权求和方法可隐式表达指挥员的意图。本文采用这一方法将多目标优化问题转换为单目标最优化问题。

由于各目标函数的量纲不同,需进行量纲转换,本文将各量纲转化为 $[0, 1]$ 集合内的数值。令目标的价值 V 取 $0 \sim 1$ 之间的数值;令 $T_{ut} = D_{ut}/D_{\max}$,则 T_{ut} 为第 u 架UCAV与目标 t 间的距离(到达时间)相对于UCAV与目标间最远(最长到达时间)距离的百分比。由此,多UCAV任务分配模型为:

$$\max \sum_{i \in U} \sum_{j \in T} (\omega_1 \cdot V_{ut}^{dj} - \omega_2 \cdot A_{ut}^{dj} - \omega_3 \cdot T_{ut}) x_{ut}^{dj} \quad (1)$$

$$V_{ut}^{dj} = P_c \cdot PK_{ut} \cdot PS_{ut}^{dj} \cdot V_t \quad (2)$$

$$A_{ut}^{dj} = 1 - PS_{tu}^{dj} \quad (3)$$

$$T_{ut} = D_{ut}/D_{\max} \quad (4)$$

$$PK_{ut} = 1 - \prod_{i \in U'_t} (1 - PKI_i) \quad (5)$$

$$PS_{ud}^{dj} = 1 - \prod_{i \in U'_t} (1 - PS_{it}^{dj}) \quad (6)$$

其中, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 为权系数,反映了每个子目标的重要程度。多UCAV任务分配应满足以下约束条件:

$$(1) x_{ut} \in \{0, 1\}, t = 1, 2, \dots, t, \dots, T; u = 1, 2, \dots, u, \dots, U;$$

$$(2) \sum_{u=1}^{N_U} x_{ut} = 1, \text{含义: 每架飞机每次只能对一个目标执行任务;}$$

(3) 使用欺骗、干扰设备的总数还应满足式(7)、(8),其中, N_d, N_j 分别为可用欺骗设备和干扰设备的总数;

$$\sum_{u=1}^{N_U} \sum_{t=1}^{U_T} x_{ut}^d \leq N_d \quad (7)$$

$$\sum_{u=1}^{N_U} \sum_{t=1}^{U_T} x_{ut}^j \leq N_j \quad (8)$$

(4) 对于每个目标,无论使用多少兵力,对目标价值毁伤收益不大于该目标的自身价值:

$$\sum_{u=1}^U P_c \cdot PK_{ut} \cdot PS_{ut}^{dj} \cdot V_t \cdot x_{ut}^{dj} \leq V_t \quad (9)$$

2 任务分配的粒子群算法

2.1 粒子群优化算法^[4,8-10]

粒子群优化算法 (particle swarm optimization, PSO) 是 Kennedy 和 Eberhart 于 1995 年提出的, 有着个体数目少、计算简单、鲁棒性好等优点。PSO 算法中, 每个粒子就是一个备选解, 多个粒子共存、合作寻优。每个粒子根据它自身的和粒子群的经验, 在问题空间中向更好的位置“飞行”, 搜索最优解。粒子本身找到的最优解称为个体最优值 (p_{Best}), 就是每个粒子在飞行过程所经历过的最好位置。整个群体目前找到的最优解称为全局最优值 (g_{Best}), 就是整个群体所经历过的最好位置。若粒子群的规模为 N , 则分别用 V_i 和 P_i 表示第 i ($i=1, 2, \dots, N$) 个粒子的速度和位置, 则每个粒子根据下面的公式来更新自己的速度和位置, 从而产生新一代群体。

$$V_i[k+1] = w \times V_i[k] + c_1 \times \text{rand}() \times (pBest[i, k] - P_i[k]) + c_2 \times \text{rand}() \times (gBest[k] - P_i[k]) \quad (10)$$

$$P_i[k+1] = P_i[k] + V_i[k+1] \quad (11)$$

其中, c_1 、 c_2 为常数, 称为学习因子, $\text{rand}()$ 和 $\text{rand}()$ 是 $[0, 1]$ 上的随机数, w 为惯性权重。

公式由 3 部分组成: 第 1 部分是粒子的当前速度, 说明了粒子目前的状态, 起到了平衡全局和局部搜索的作用; 第 2 部分是认知部分, 表示粒子本身的思考, 使粒子有足够强的全局搜索能力, 避免局部极小; 第 3 部分为社会部分, 体现了粒子间的信息共享。在这 3 部分的共同作用下, 粒子才能有效地到达最好位置。此外, 粒子在不断根据速度调整自己的位置时, 还要受到最小速度和最大速度的限制。这 3 个部分共同决定了粒子的空间搜索能力。

可见, 粒子以问题空间的“位置”作为评价其优劣的指标, 实际应用中, 通过优化问题的目标函数所决定的适应度值来评价粒子的“好坏”程度。PSO 算法在各类多维连续空间优化问题上已经取得非常好的效果^[10], 而对于任务分配这一类离散空间的整数规划问题, 还需结合具体应用, 在算法实现过程中作相应的修改。

2.2 任务分配的粒子群算法

寻求一个合适的表达方法, 使粒子与可行解对应, 是将算法应用于任务分配中的关键。由前文分析可知, 决策的关键在于确定 (1)UCAV 攻击哪个目标 (2)该 UCAV 是否使用或使用何种软杀伤武器。由此, 本文构造了一个 $2U$ 维的空间对应于 U 个 UCAV 的任务分配问题, 每个粒子都包含两个 U 维的向量, 其中 X_t 对应于该 UCAV 要攻击目标的序号, X_s 对应于使用欺骗、干扰设备等软杀伤武器情况的序号。例如, 设 6 架 UCAV 打击 4 个目标, 若某粒子的位置向量 X 为:

$$X_t: 1 \quad 2 \quad 4 \quad 2 \quad 1 \quad 3$$

$$X_s: 4 \quad 2 \quad 3 \quad 1 \quad 4 \quad 1$$

则表示: 序号为 1 和 5 的 UCAV 协同攻击目标 1, 两架飞机同时使用欺骗设备和干扰设备; 序号为 2 和 4 的 UCAV 协同攻击目标 2, 序号为 2 的 UCAV 使用欺骗设备, 序号为 4 的 UCAV 既不使用欺骗设备也不使用干扰设备; 序号为 6 的 UCAV 攻击目标 3, 同时既不使用欺骗设备也不使用干扰设备; 序号为 3 的 UCAV 攻击目标 4, 使用干扰设备。

本文采用多子群体的 PSO 算法, 算法实现过程如下:

步骤 1 初始化

- ① 每个粒子位置向量 X 的每一维随机取 $1 \sim T$ (目标数) 之间的整数, $1 \sim T$ 代表目标的序号;
- ② 每个速度向量 V 的每一维随机取 $-(T-1) \sim (T-1)$ 之间的整数;
- ③ 将粒子群划分为多个互相重叠的子群;
- ④ 评价所有粒子, 将初始评价值作为个体历史最优解;
- ⑤ 寻找各子群体内最优解和总群体内的最优解。

步骤 2 重复执行以下步骤, 直到满足终止条件或达到最大迭代次数。

- ⑥ 对每一个粒子, 按式(10)计算速度 V , 按式(11)计算 X , 当 V 、 X 超过其范围时按边界取值;
- ⑦ 用式(1)评价每个粒子;

- ⑧ 与该粒子的历史最优值相比较,记录到该时刻为止的最优评价值和对应的粒子最优位置;
- ⑨ 寻找各子群内最优解和总群体的最优解。

3 仿真算例

算例 1 4UCAV 对 4 目标协同任务分配

假设有 4 架 UCAV 和 4 个地面目标, $P_c = 1$ 。为便于与文献[4]中的模型和算法相比较,目标的价值、UCAV 对目标的杀伤概率、UCAV 的生存概率均采用文献[4]中的数据,见表 1、表 2,并设置 UCAV 与目标间的距离如表 3 所示,整数为 UCAV 到目标间的实际距离,小数为其间的相对距离(公式(4))。令 $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = 1, w = 0.75, c_1 = c_2 = 0.5$ 。

表 1 目标价值和 UCAV 对目标的杀伤概率

Tab.1 Kill probability of each UCAV-target pair and taret value

	V	UCAV1	UCAV2	UCAV3	UCAV4
目标 1	0.9	0.1	0.1	0.2	0.9
目标 2	0.8	0.8	0.2	0.2	0.1
目标 3	0.7	0.3	0.4	0.5	0.2
目标 4	0.6	0.4	0.9	0.3	0.3

表 2 UCAV 对目标的生存概率 PS(d -诱骗, j -干扰)

Tab.2 UCAV 's probability survival against target PS(d -decoy j -jamming)

		UCAV1	UCAV2	UCAV3	UCAV4
目标 1	dj	0.926	0.906	0.916	0.966
	d	0.922	0.902	0.912	0.962
	j	0.924	0.904	0.914	0.964
	Ndj	0.920	0.900	0.910	0.960
目标 2	dj	0.306	0.906	0.986	0.926
	d	0.302	0.902	0.982	0.922
	j	0.304	0.904	0.984	0.924
	Ndj	0.300	0.900	0.980	0.920
目标 3	dj	0.996	0.916	0.256	0.926
	d	0.922	0.912	0.252	0.922
	j	0.994	0.914	0.254	0.924
	Ndj	0.990	0.910	0.250	0.920
目标 4	dj	0.926	0.936	0.926	0.916
	d	0.922	0.932	0.922	0.912
	j	0.924	0.934	0.924	0.914
	Ndj	0.920	0.930	0.920	0.910

表 3 UCAV 与目标间距离

Tab.2 Distance between UCAV and Target

	UCAV1	UCAV2	UCAV3	UCAV4
目标 1	314	192	321	69
	0.91813	0.56140	0.93860	0.20175
目标 2	56	321	123	123
	0.16374	0.93860	0.35965	0.35965
目标 3	108	333	71	231
	0.31579	0.97368	0.20760	0.67544
目标 4	199	102	109	233

针对这一想定分别做了 5 组实验,如图 1 所示, A 、 B 、 D 对应的目标函数分别为:最大 TVD、综合最大化 TVD 和最小化 UCAV 损耗、综合三个因素的任务分配模型。 C 与 B 的目标函数相同, C 使用了软杀伤武器; E 与 D 的目标函数相同,但 E 中允许多个 UCAV 协同攻击同一目标。比较实验 D 与 C ,可看出任务消耗时间也是影响任务分配的重要因素之一,是否考虑该因素将直接影响分配结果。比较实验 D 、 E 可以看出,多个 UCAV 协同攻击同一目标能够大大提高作战效能。采用本文构造的粒子表达方式和算法循环到第 2~3 步就能收敛,与文献[4]中的 10~20 步相比,收敛速度更快,且能够直接表达任务分配中的附加信息,可扩展性较好。

算例 2 较大规模 UCAV 编队的任务分配

分别针对 10 个 UCAV 攻击 10 个目标、20 个 UCAV 攻击 20 个目标、30 个 UCAV 攻击 30 个目标三个不同想定,对本文设计的模型和 PSO 算法进行验证,结果如图 2 所示。其中,实验 1、3、5 为不允许多 UCAV 同时攻击同一目标情况下对三个想定分别进行 20 组实验得出的结果,实验 2、4、6 分别与 1、3、5 相对应,为同样想定下允许多 UCAV 同时攻击同一目标的情况。可见,允许多个 UCAV 同时攻击同一目标能够大大提高作战效能,对规模越大的 UCAV 编队,效果就越明显。

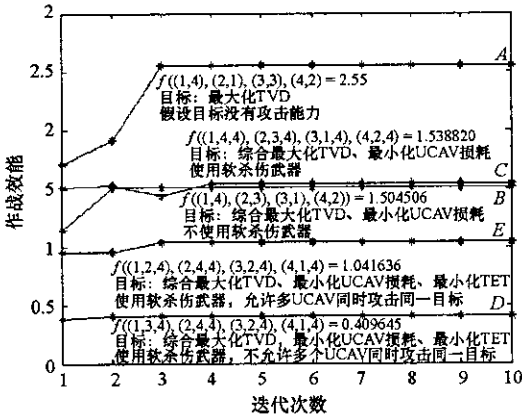


图1 不同目标函数和约束下的协同任务分配图
Fig.1 Cooperative task allocation under different object functions and conditions

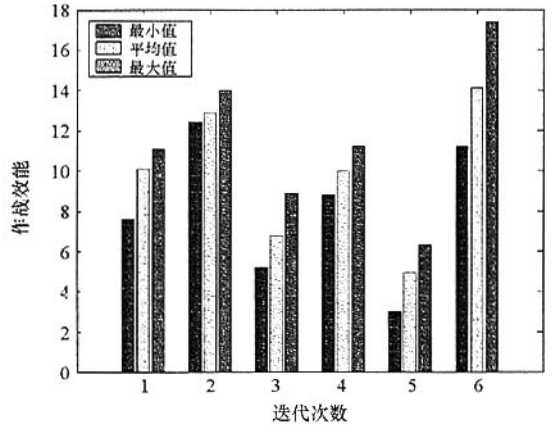


图2 较大规模UCAV编队的任务分配
Fig.2 Task allocation of a larger group ofUCAV

4 结论

本文建立的模型综合考虑了目标价值毁伤、我UCAV损耗、执行任务消耗时间等三项关键战术指标和多UCAV合作攻击同一目标、使用软杀伤武器等典型战术。通过设计合适的表达方法,使粒子与可行解对应,设计了适合多UCAV协同任务分配的PSO算法。仿真结果表明这三项指标是决定多UCAV任务分配的关键因素,多UCAV同时攻击同一目标能够提高作战效果,本文设计的算法可行、有效。

本文研究的任务分配模型和算法可以直接应用于集中式多UCAV协同控制中,模型合理有效,算法简单、易于实现,且PSO算法能在运行的任意时刻中止,得到当前最优的可行解,这使得算法能够适应于寻求可行解而非最优解的实时或近实时任务分配问题。

参考文献:

[1] 冯琦,周德云. 军用无人机发展趋势[J]. 电光与控制, 2003, 10(1): 9-13.

[2] UAV Technologies and Combat Operations[R]. Air Force Scientific Advisory Board (SAB), SAF/PA 96-1204, 1996.

[3] Chen G, Curz J B, Jr. Genetic Algorithm for Task Allocation in UAV Cooperative Control [C]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Austin, Texas, Aug. 11-14, 2003.

[4] Curz J B, Jr C, Chen G. Particle Swarm Optimization for Resource Allocation in UAV Cooperative Control [A]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Rhode Island, Aug. 16-19, 2004.

[5] Chandler P R, Pachter M. Complexity in UAV Cooperative Control [A]. Proceedings of the American Control Conference [C], May, 2002.

[6] Nygard K E, Chandler P R, Pachter M. Dynamic Network Optimization Models for Air Vehicle Resource Allocation [A]. American Control Conference [C], Arlington, VA, June 25-27, 2001: 1853-1858.

[7] 叶媛媛, 闵春平, 沈林成, 等. 基于满意决策的多UCAV协同目标分配方法[J]. 国防科技大学学报, 2005, 27(4): 116-120.

[8] Venter G. Particle Swarm Optimization [A]. 43rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference [C], Denver, Apr. 2002.

[9] Bergh F, Engelbrech A P. A Cooperative Approach to Particle Swarm Optimization [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2004, 8(3): 225-239.

[10] Ji C L, Yuan P. Particle Swarm Optimization for Mobile Ad Hoc Networks Clustering [A]. Proc. 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing & Control [C], Taipei, Taiwan, Mar. 2004.

[11] Guo W, Wolsey B. Integer and Trading Mechanism for Task Allocation [A]. 13th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering [C], June, 2001.

[12] Lemaire T, Alami R, Lacroix S. A Distributed Tasks Allocation Scheme in Multi-UAV Context [A]. ICRA 2004 [C], 2004.