



(21) 申请号 202010354151.2

(22) 申请日 2020.04.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111797966 A

(43) 申请公布日 2020.10.20

(73) 专利权人 南京航空航天大学
地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

专利权人 南京长空科技有限公司
南京浦口高新技术产业开发区管
理委员会

(72) 发明人 张勇 王鹏飞 杨柳庆 杨婷婷

(74) 专利代理机构 合肥市科融知识产权代理事
务所(普通合伙) 34126

专利代理师 王前程 王家培

(51) Int.Cl.

G06F 30/27 (2020.01)

G06N 3/006 (2023.01)

G06F 111/04 (2020.01)

G06F 111/06 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 110766254 A, 2020.02.07

WO 2007080584 A2, 2007.07.19

王勋;姚佩阳;孙昱;李锴;荣庆.文化算法在
有人/无人机协同作战目标分配中的应用.空军
工程大学学报(自然科学版).2016,(第02期),全
文.

审查员 张李一

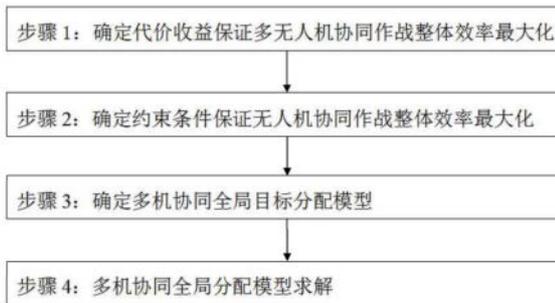
权利要求书1页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于改进羊群算法的多机协同全局目
标分配方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于改进羊群算法的多
机协同全局目标分配方法,该方法包括以下步
骤:步骤1、确定代价收益保证多无人机协同作战
整体效率最大化;步骤2、确定约束条件保证多无
人机协同作战整体效率最大化;步骤3、确定多机
协同全局目标分配模型;步骤4、多机协同全局目
标分配模型求解。一种基于改进羊群算法的多机
协同全局目标分配方法稳定性高,最优解质量
高,收敛速度快,具备跳出局部最优解的能力,能
更加有效地保障多无人机协同作战的整体效率
最大化。



1. 一种基于改进羊群算法的多机协同全局目标分配方法,其特征在于,该方法包括以下具体步骤:

步骤1:确定代价收益保证多无人机协同作战整体效率最大化;为保证多无人机协同作战整体效率最大化,需要求无人机燃油消耗代价和攻击目标时的损伤代价尽可能小,同时攻击目标时的收益代价尽可能大;

步骤2:确定约束条件保证多无人机协同作战整体效率最大化;多无人机协同目标分配是一个复杂的多约束优化问题,考虑的约束条件包括:最大航程约束、最大执行能力约束、目标执行次序约束和决策变量约束,分别表示为:

$$L_i < L_i^{\max} (\forall U_i \in U)$$

$$\sum_{j=1}^t x_{ij} \leq Num_i$$

$$t_j > t_i + \Delta t$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^u x_{ij} = 1 & j = 1, 2, \dots, t & u < t \\ \sum_{j=1}^t x_{ij} = 1 & i = 1, 2, \dots, u & u \geq t \end{cases}$$

其中,无人机 U_i 飞行总距离为 L_i , L_i^{\max} 表示无人机 U_i 最大可飞行距离, Num_i 为无人机 U_i 的最大载弹量, t_i, t_j 分别为目标 T_i 和目标 T_j 被攻击的时间, Δt 为两目标被攻击的最小时间间隔, $\Delta t > 0$;

步骤3:确定多机协同全局目标分配模型,确定目标分配作战场景并构造适应度函数,羊群算法求解最优目标分配方案时的适应度函数可表示为:

$$fitness = f + C$$

$$\begin{cases} f = c_1 \alpha_1 f_F + c_2 \alpha_2 f_A + c_3 \alpha_3 f_V \\ C = C_1 + C_2 + C_3 \end{cases}$$

其中, f 为某只羊对应的目标函数值, C 为惩罚项,当 C 为0时表示该个体可行;

步骤4:多机协同全局目标分配模型求解,选择合适的种群初始化方式并确定羊群算法改进策略和改进步骤。

2. 根据权利要求1所述的一种基于改进羊群算法的多机协同全局目标分配方法,其特征在于根据多机协同全局目标分配的特点建立多约束条件的目标分配模型,采用改进羊群算法进行求解,在多机协同全局目标分配中获得最优解的质量可靠,具备跳出局部最优解的能力,收敛速度快且稳定性高,能有效地保障多无人机协同作战的整体效率最大化。

一种基于改进羊群算法的多机协同全局目标分配方法

技术领域

[0001] 本发明涉及多机协同全局目标分配和一种新型羊群算法的信息技术领域,尤其涉及一种基于改进羊群算法的多机协同全局目标分配方法。

背景技术

[0002] 随着无人机技术的发展成熟及智能化水平的不断提高,无人机将成为未来天空的领导者和世界各国武装力量的主要装备,在未来战场中有着巨大作战潜力。在信息化、网络化、体系化对抗高速发展的现代战争中,依赖单架无人机执行情报侦察、战场打击等任务已远远不能满足当前任务需求,利用多架无人机针对多个目标协同执行作战任务已成为必然趋势。由于作战环境复杂度及无人机数量增加,多无人机协同目标分配对提高作战效能尤为重要,是多无人机自主协同完成任务的关键技术,决定了无人机互相协同及目标合理分配的实用性。

[0003] 近年来多无人机目标分配问题的研究得到广泛关注,常用的方法有数学规划、基于协商的方法和启发式算法。数学规划是集中式解决目标分配的确定性方法,该方法对研究对象要求比较具体,数学模型需要进行变化调整,而且当模型规模过大时,求解计算量呈指数增加。基于协商的方法属于分布式的任务规划方法,常用的有合同网和拍卖算法。该方法适合不确定性强、高动态、实时性要求高的场景下的任务分配与决策。相比而言,以粒子群算法、遗传算法、模拟退火算法、蚁群算法、灰狼算法等为代表的启发式算法计算复杂度低、应用灵活、易于实现,目前广泛用于目标分配问题的求解,但传统的启发式算法难以找到可靠的初始分配方案且收敛速度不理想。

[0004] 羊群算法(Sheep Optimization,SO)是由曲大鹏和许伦祥等人于2018年提出的一种模拟羊群觅食行为的新型群集智能算法。该算法从群集智能算法的核心出发,通过模拟羊群的头羊引领、羊群互动和牧羊犬监督三种行为,设计了该算法中相应的全局搜索、局部开发和跳出局部最优三种策略。该算法与粒子群算法相比能够获得更高质量的解,同时具有更快的收敛速度和更好的稳定性。但普通羊群算法中每只羊都是基于连续空间(区间)进行搜索,其初始位置、位置更新方式都是连续函数,而多无人机协同目标分配问题中的变量均为离散型,此外放牧操作对该算法求解目标分配问题的稳定性影响较大,针对上述问题本申请对基本羊群算法做出一些相应的改进。

[0005] 本申请针对传统启发式算法最优解质量不可靠且收敛速度不理想的问题,根据多机协同全局目标分配的特点建立多约束条件的目标分配模型,采用改进羊群算法进行求解。

发明内容

[0006] 针对上述问题,本发明提出一种基于改进羊群算法的多机协同全局目标分配方法,使其具有稳定性高,最优解质量高,收敛速度快,具备跳出局部最优解的能力,能更加有效地保障多无人机协同作战的整体效率最大化的优点。

[0007] 步骤1:确定代价收益保证多无人机协同作战整体效率最大化

[0008] 为保证多无人机协同作战整体效率最大化,需要求无人机燃油消耗代价和攻击目标时的损伤代价尽可能小,同时攻击目标时的收益代价尽可能大。因此本申请从燃油消耗代价、攻击损伤代价和攻击收益代价三个方面确定代价收益,以保证无人机协同族战整体效率最大化。

[0009] (1) 燃油消耗代价

[0010] 无人机完成任务时需要考虑燃油消耗问题,其飞行的燃油消耗与飞行航程、飞行时间有关,假设无人机飞行速度固定,则飞行距离越短,燃油消耗越少,可用飞行航程大小来表示燃油消耗代价。总燃油消耗代价可表示为:

$$[0011] \quad f_F = \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^t d_i(T_j, T_{j+1}) \quad (1)$$

[0012] 式(1)中, $d_i(T_j, T_{j+1})$ 表示无人机 U_i 分配的目标中第j个目标到第j+1个目标的距离,当j为1时则表示无人机 U_i 从出发点到第一个目标点的距离。在进行目标预分配时,因无法预知无人机具体飞行航程,故本申请中无人机飞行航程以无人机与目标点间的直线距离表示。

[0013] (2) 攻击损伤代价

[0014] 无人机攻击目标时会受到敌方火力和飞行环境中地形、障碍物等威胁的影响,损伤代价最小化保证无人机在执行任务过程中受到的威胁度最小。

[0015] 假设无人机 U_i 攻击目标 T_i 时无人机的损伤概率为 h_{ij} ,则所有无人机的攻击损伤代价为:

$$[0016] \quad f_A = \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^t x_{ij} h_{ij} \quad (2)$$

[0017] (3) 攻击收益代价

[0018] 攻击收益代价指无人机在攻击目标时,能够获得的目标价值收益。目标攻击收益代价以最大化为目标,为方便计算目标函数值,本申请采用目标剩余价值量来评估该代价。

[0019] 假设无人机 U_i 攻击目标 T_i 时对、

[0020] 该目标的杀伤概率为 p_{ij} ,目标 T_i 的价值为 v_j ,则所有无人机的攻击收益代价为:

$$[0021] \quad f_V = V_{all} - \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^t x_{ij} p_{ij} v_j \quad (3)$$

[0022] 实际作战中无法保证每个指标都能够达到最优,对于多目标问题可根据各个目标的相对权重,采用归一化方法对不同指标进行处理,进而将该问题转化为单目标优化问题。多无人机协同目标分配的优化目标函数可表示为:

$$[0023] \quad \min f = c_1 \alpha_1 f_F + c_2 \alpha_2 f_A + c_3 \alpha_3 f_V \quad (4)$$

[0024] 式(4)中, c_1, c_2, c_3 为权重系数,表示各优化指标的重要程度,取值范围为 $[0, 1]$ 且满足 $c_1 + c_2 + c_3 = 1$, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 为比例缩放因子,保证了各代价值处于同一量级。

[0025] 步骤2:确定约束条件保证多无人机协同作战整体效率最大化

[0026] 多无人机协同目标分配是一个复杂的多约束优化问题,为保证无人机协同作战整体效率最大化,本申请考虑的约束条件包括:

[0027] (1) 最大航程约束

[0028] 无人机受机载燃油的限制, 单次可飞行距离有限, 假设无人机 U_i 飞行总距离为 L_i , L_i^{\max} 表示无人机 U_i 最大可飞行距离, 则无人机执行任务的总航程应小于其最大可飞行距离, 即

$$[0029] \quad L_i < L_i^{\max} (\forall U_i \in U) \quad (5)$$

[0030] (2) 最大执行能力约束

[0031] 每架无人机能够携带的弹药数量会受到载荷能力的限制, 假设每个弹药只能攻击一次目标, Num_i 为无人机 U_i 的最大载弹量, 则无人机能够攻击的目标数量需小于等于其最大执行能力, 即

$$[0032] \quad \sum_{j=1}^t x_{ij} \leq Num_i \quad (6)$$

[0033] (3) 目标执行次序约束

[0034] 无人机协同攻击目标时, 重要的目标需要优先攻击, 同时对于某些特定的目标要求优先级大于其他目标。假设目标 T_i 的优先级大于目标 T_j 的优先级, 则执行次序需满足:

$$[0035] \quad t_j > t_i + \Delta t \quad (7)$$

[0036] 式(7)中, t_i, t_j 分别为目标 T_i 和目标 T_j 被攻击的时间, Δt 为两目标被攻击的最小时间间隔, $\Delta t > 0$ 。

[0037] (4) 决策变量约束

[0038] 由于无人机数量与目标数量的大小关系不同, 目标分配时对无人机和目标的约束也不同。当 $u > t$ 时, 每架无人机至少攻击一个目标; 当 $u < t$ 时, 每个目标至少被攻击一次。该约束可表示为:

$$[0039] \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^u x_{ij} = 1 & j = 1, 2, \dots, t & u < t \\ \sum_{j=1}^t x_{ij} = 1 & i = 1, 2, \dots, u & u \geq t \end{cases} \quad (8)$$

[0040] 步骤3: 确定多机协同全局目标分配模型

[0041] 3.1 目标分配作战场景

[0042] 实际作战过程中, 无人机与目标的情况无法确定, 为使本申请在进行目标分配过程中的效率更高, 本申请以多架无人机对多个目标执行协同攻击任务为研究背景建立目标分配模型。

[0043] 假设我方有 $u (u \geq 1)$ 架无人机 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_u\}$, 敌方有 $t (t \geq 1)$ 个确定目标 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_t\}$, 每架飞机的飞行性能和载荷大小各有差异, 不同的目标也具有不同的攻击价值和抵抗能力。

[0044] 由于实际作战时无人机和目标数量不确定, 因此本申请针对三种典型的情况建立目标分配模型, 具体为:

[0045] $u = t$ 时, 要求无人机与目标一一对应, 该情况模型简单, 协同约束关系少;

[0046] $u > t$ 时, 每架无人机只分配一个目标, 存在多架无人机协同攻击一个目标的情况,

该情况下对被分配同一目标的无人机编队的时间协同要求高；

[0047] $u < t$ 时,每个目标仅被分配一次,存在一架无人机攻击多个目标的情况,该情况下分配的目标需遵循任务执行的时序约束。

[0048] 进行目标分配时,无人机与目标之间的对应关系由决策变量 x_{ij} 确定,其定义如式(9)所示:

$$[0049] \quad x_{ij} = \begin{cases} 0 & U_i \text{ 不对 } T_j \text{ 进行攻击} \\ 1 & U_i \text{ 对 } T_j \text{ 进行攻击} \end{cases} (i \in [1, u], j \in [1, t]) \quad (9)$$

[0050] 对于不同的数量关系,决策变量可表示为:

$$[0051] \quad x_{ij} = \begin{cases} x_{ij} & u = t \\ x_{i'j} & i' = [i_x, \dots, i_y], x, y \in [1, u] & u > t \\ x_{i'j'} & j' = [j_p, \dots, j_q], p, q \in [1, t] & u < t \end{cases} \quad (10)$$

[0052] 式(10)中, i' 表示攻击目标 j 的无人机序号, j' 表示无人机 i 的攻击目标序号。

[0053] 对于多目标优化问题需要建立目标函数作为优化指标来评判目标分配结果的优劣,本申请考虑的优化指标包括无人机燃油消耗代价、攻击目标时的损伤代价和攻击目标的收益代价,同时需要满足无人机飞行距离、飞行时间、载荷大小以及目标执行次序等约束条件。

[0054] 3.2构造适应度函数

[0055] 多机协同目标分配问题约束条件众多,需选择合适的方式处理以得到适应度函数。本申请采用罚函数法进行约束条件处理,对应的惩罚函数如下:

[0056] (1) 最大航程

[0057] 若目标分配结果中有某架无人机飞行距离超过其最大飞行距离,则对其施加惩罚:

$$[0058] \quad C_1 = \begin{cases} 0 & L \leq L^{\max} \\ l & L > L^{\max} \end{cases} \quad (11)$$

[0059] 式(11)中, L 表示该无人机飞行距离, L^{\max} 表示该无人机最大可飞行距离, l 为不满足最大航程约束时施加的惩罚值。

[0060] (2) 最大执行能力

[0061] 若目标分配结果中有某架无人机超出其最大执行能力约束,则对其施加惩罚:

$$[0062] \quad C_2 = \begin{cases} 0 & num \leq Num \\ n & num > Num \end{cases} \quad (12)$$

[0063] 式(12)中, num 表示该无人机分配的目标数, Num 表示该无人机载弹量, n 为不满足最大执行能力约束时施加的惩罚值。

[0064] 目标执行次序

[0065] 若目标分配结果中有某架无人机不满足目标执行次序约束,则对其施加惩罚:

$$[0066] \quad C_3 = \begin{cases} 0 & \text{满足时序约束} \\ m & \text{不满足时序约束} \end{cases} \quad (13)$$

[0067] 采用罚函数法处理多个约束条件后,羊群算法求解最优目标分配方案时的适应度函数可表示为:

$$[0068] \quad \begin{cases} fitness = f + C \\ f = c_1 \alpha_1 f_F + c_2 \alpha_2 f_A + c_3 \alpha_3 f_V \\ C = C_1 + C_2 + C_3 \end{cases} \quad (14)$$

[0069] 式(14)中, f 为某只羊对应的目标函数值, C 为惩罚项,当 C 为0时表示该个体可行。

[0070] 步骤4:多机协同全局目标分配模型求解

[0071] 4.1羊群初始化

[0072] 由于初始化方式的选择直接影响算法的搜索效率和分配问题的结果,因此利用离散羊群算法解决多无人机协同目标分配问题时,需要选择合适的种群初始化方式。

[0073] 在离散羊群算法中,每只羊代表一个备选解,整个羊群通过头羊引领、羊群互动和牧羊犬监督行为进行位置更新进而寻找最优解。本申请根据无人机与目标之间的大小关系以及约束条件,采用灵活的初始化方式设置初代羊群。每只羊表示的解的维度根据当前目标分配的情况而定,假设解的维度是 N_c ,则 N_c 的取值方式为:

$$[0074] \quad N_c = \begin{cases} t & u \leq t \\ u & u > t \end{cases} \quad (15)$$

[0075] 当无人机数大于目标数时,解维度为无人机总数,当待分配目标数大于等于无人机数时,解维度为待分配目标总数。将羊群用多维数组表示,如图2-4所示。

[0076] 以 $u < t$ ($u=4, t=8$)为例,假设最终分配结果为如图2第1只羊所表示的解,则对应的决策变量矩阵如下所示:

$$[0077] \quad X = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

[0078] 该初始化方式可满足目标分配时决策变量的约束条件,初始种群的优劣直接影响后代进化后的结果,为确保方案有效,得到初始种群后判断每个方案是否符合约束条件,若不符合则重新初始化。

[0079] 4.2羊群算法改进策略和求解步骤

[0080] 本申请将羊群移动改进为产生随机整数更新位置的方式。假设某只羊执行头羊引领操作,普通羊群算法的位置更新方式如下:

$$[0081] \quad x_i^{new} = x_i^{old} + rand(0,1) \times (x_{bellwether} - x_i^{old}) \quad (17)$$

[0082] 改进后的羊群算法的头羊引领更新方式如下:

$$[0083] \quad x_i^{new} = x_i^{old} + Step(x_{bellwether}, x_i^{old}) \quad (18)$$

[0084] 式(18)中Step函数流程表1所示。

[0085] 表1 Step函数流程

	步骤	Step(A,B)
	1	C=A-B;
[0086]	2	D=zeros(1,size(C,2));
	3	for i=1:size(C,2)
	4	if C(1,i)>0
	5	D(i)=randi([0,C(1,i)],1,1);
	6	else if C(1,i)==0
	7	D(i)=0;
[0087]	8	else D(i)=-randi([0,abs(C(1,i))],1,1);
	9	end if
	10	end for
	11	return D.

[0088] 利用改进羊群算法进行多机协同全局目标分配的步骤如表2所示。

[0089] 表2 改进羊群算法步骤

	步骤	改进羊群算法
	1	算法初始化
	2	while 算法终止条件不满足
	3	执行头羊引领操作
[0090]	4	执行羊群互动操作
	5	执行牧羊犬监督操作
	6	end while
	7	输出结果

[0091] 在目标分配问题中解的每个维度上发生很小变化都会对适应度函数值产生很大影响,放牧后的羊重新初始化极大的影响了算法的稳定性,本申请将牧羊犬监督机制与遗传算法相结合,将每只羊视为遗传算法中的一条染色体,将重新初始化操作改进为同条染色体基因交叉的方式,保证算法的稳定性且具有跳出局部最优的能力。假设 $u=t=6$ 时,某

只羊被放牧,其操作如图5所示。

[0092] 羊群算法通过模拟头羊引领羊群实现快速全局探索,使得羊群快速向已知全局优化解靠近;通过羊群之间的互相移动来实现局部开发,进一步加快收敛速度;应用牧羊犬监督机制判断是否进入局部最优并快速跳出局部优化解。

[0093] (1) 头羊引领

[0094] 头羊即指羊群中适应度函数值最优的羊,头羊引领是指每只羊向头羊移动的行为,对应算法的全局探索机制,为保证搜索的性能,只在新羊适应度函数值优于老羊时才更新该羊位置,如图6。

[0095] (2) 羊群互动

[0096] 羊群互动行为对应算法的局部开发机制,羊群中每只羊 x_i 会随机选择另外一只随机羊 x_j 进行羊群互动策略。如果选定羊 x_i 的适应度值优于随机羊 x_j ,则 x_i 向远离 x_j 的位置更新, x_j 向靠近 x_i 的位置更新,反之则执行相反操作。同样为保证搜索的性能,只在新羊适应度函数值优于老羊时才更新该羊位置,如图7。

[0097] (3) 牧羊犬监督

[0098] 当本代头羊与上一代头羊的适应度函数差值小于一个阈值 ϵ 时,牧羊犬监督机制被引入来跳出局部优化。每只羊将按一定的概率 p 被牧羊犬放牧,即该羊按概率 p 被重新初始化,如图8。

[0099] 该算法与传统启发式算法和基本羊群算法相比,在多机协同全局目标分配中获得最优解的质量更加可靠,具备跳出局部最优解的能力,收敛速度更快且稳定性更高,能更加有效地保障多无人机协同作战的整体效率最大化。

附图说明

[0100] 图1是一种基于改进羊群算法的多机协同全局目标分配方法步骤框图。

[0101] 图2-4是种群初始化,分别为 $u=t$ ($u=t=6$)、 $u<t$ ($u=4, t=8$)、 $u>t$ ($u=8, t=4$)时的情况。

[0102] 图5是放牧操作中, $u=t=6$ 时某只羊被放牧的情况。

[0103] 图6为头羊引领算法流程图。

[0104] 图7为羊群互动算法流程图。

[0105] 图8为牧羊犬监督算法流程图。

具体实施方式

[0106] 以下通过实例进一步阐述本发明所涉及的体系及其使用方法:

[0107] 实施例1

[0108] 本发明所述的一种基于改进羊群算法的多机协同全局目标分配方法,具体包括以下步骤:

[0109] 步骤1:确定代价收益保证多无人机协同作战整体效率最大化。为保证多无人机协同作战整体效率最大化,需要求无人机燃油消耗代价和攻击目标时的损伤代价尽可能小,同时攻击目标时的收益代价尽可能大。

[0110] 步骤2:确定约束条件保证多无人机协同作战整体效率最大化。多无人机协同目标

分配是一个复杂的多约束优化问题,本申请考虑的约束条件包括:最大航程约束、最大执行能力约束、目标执行次序约束和决策变量约束,分别表示为:

$$[0111] \quad L_i < L_i^{\max} (\forall U_i \in U)$$

$$[0112] \quad \sum_{j=1}^t x_{ij} \leq \text{Num}_i$$

$$[0113] \quad t_j > t_i + \Delta t$$

$$[0114] \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^u x_{ij} = 1 & j = 1, 2, \dots, t & u < t \\ \sum_{j=1}^t x_{ij} = 1 & i = 1, 2, \dots, u & u \geq t \end{cases}$$

[0115] 其中,无人机 U_i 飞行总距离为 L_i , L_i^{\max} 表示无人机 U_i 最大可飞行距离, Num_i 为无人机 U_i 的最大载弹量, t_i , t_j 分别为目标 T_i 和目标 T_j 被攻击的时间, Δt 为两目标被攻击的最小时间间隔, $\Delta t > 0$ 。

[0116] 步骤3:确定多机协同全局目标分配模型,确定目标分配作战场景并构造适应度函数,羊群算法求解最优目标分配方案时的适应度函数可表示为:

$$\text{fitness} = f + C$$

$$[0117] \quad \begin{cases} f = c_1 \alpha_1 f_F + c_2 \alpha_2 f_A + c_3 \alpha_3 f_V \\ C = C_1 + C_2 + C_3 \end{cases}$$

[0118] 其中, f 为某只羊对应的目标函数值, C 为惩罚项,当 C 为0时表示该个体可行。

[0119] 步骤4:多机协同全局目标分配模型求解,选择合适的种群初始化方式并确定羊群算法改进策略和改进步骤。

[0120] 优选的,根据多机协同全局目标分配的特点建立多约束条件的目标分配模型,采用改进羊群算法进行求解,在多机协同全局目标分配中获得最优解的质量可靠,具备跳出局部最优解的能力,收敛速度快且稳定性高,能有效地保障多无人机协同作战的整体效率最大化。

[0121] 实施例2

[0122] 为验证羊群算法用于多机协同全局目标分配问题的有效性,本申请进行了MATLAB仿真实验并与遗传算法(GA)进行了性能对比。

[0123] 步骤一、算法初始化

[0124] 假设作战前共有8架作战无人机可供调用,8个待攻击的目标点,无人机与目标点的初始参数信息分类如表3和表4所示。

[0125] 表3 无人机初始信息表

飞机编号	坐标/km	续航能力/km	载荷能力	杀伤概率
1	(1,1,0)	110	2	0.9
2	(1,6,0)	120	2	0.9
[0126] 3	(4,55,0)	150	3	0.8
4	(1,60,0)	150	2	0.8
5	(1,78,0)	100	1	0.7
6	(2,28,0)	120	1	0.8
7	(10,90,0)	150	1	0.6
8	(12,99,0)	130	1	0.9

[0127] 表4 目标点初始信息表

目标编号	坐标/km	任务价值	载荷能力
1	(85,10,0)	1.0	
2	(65,30,0)	0.75	[2,3]
[0128] 3	(80,60,0)	0.8	[3,6][3,5]
4	(95,95,0)	0.6	
5	(90,80,0)	0.7	
6	(95,50,0)	1.0	
7	(50,0,0)	1.0	[7,1]
8	(60,88,0)	0.9	[8,5]

[0129] 假设无人机对每个目标的杀伤概率相同,攻击目标后的损伤概率如表5所示。算法参数设置为:种群规模 $NP=50$,最大迭代次数为100,阈值 $\varepsilon=10^{-8}$,重置概率 $p=0.2$ 。

[0130] 表5 无人机攻击目标后的损伤概率表

目标/ 无人机	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.1	0.2	0.2	0.6	0.5	0.4	0.05	0.6
2	0.6	0.4	0.1	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2
[0131] 3	0.2	0.1	0.3	0.6	0.5	0.2	0.1	0.4
4	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1
5	0.6	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1
6	0.2	0.1	0.2	0.6	0.5	0.3	0.1	0.4
7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.3	0.35	0.6	0.1
8	0.7	0.5	0.4	0.1	0.3	0.35	0.6	0.1

[0132] 由于实际作战时无人机数量与目标数量不确定,本申请针对三种不同的应用场景进行仿真实验,各场景设置如下:

[0133] 场景一: $u=t$,无人机 U_1 U_6 攻击目标点 T_1 T_6 ;

[0134] 场景二: $u>t$,无人机 U_1 U_8 攻击目标点 T_1 T_4 ;

[0135] 场景三: $u<t$,无人机 U_1 U_4 攻击目标点 T_1 T_8 。

[0136] 步骤二、算法仿真

[0137] 本申请针对不同场景下的分配问题进行仿真,具体分配结果如表6、表7及表8所

示:

[0138] 表6 场景一分配结果

无人机	1	2	3	4	5	6
目标	T2	T5	T1	T3	T4	T6
航程(km)	70.2638	89.56	84.0952	79	95.5249	95.5667

[0140] 表7 场景二分配结果

无人机	1	2	3	4	5	6	7	8
目标	T1	T2	T1	T3	T3	T2	T4	T4
航程(km)	84.4808	65.9242	84.0952	79	81.0247	63.0317	85.1469	83.0963

[0142] 表8 场景三分配结果

无人机	1	2	3	4
目标	T2->T6	T4->T8	T1->T7	T3->T5
航程(km)	106.3193	100.6931	85.76653	101.3607

[0144] 表6-8表明,利用羊群算法可以解决不同数量关系及多约束条件下的多机协同全局目标分配问题且能够得到合理的结果。由于全局目标分配问题对解的质量、收敛速度及稳定性要求极高,本申请将改进羊群算法和原始遗传算法进行了性能比较。

[0145] 步骤三、性能分析

[0146] 为验证羊群算法解决多机协同全局目标分配问题的搜索效率,本申请将改进羊群算法与遗传算法进行性能比较,两种算法同一参数设置为相同值,遗传算法中交叉概率 $P_c = 0.9$,变异概率 $P_m = 0.1$ 。种群初始化后初代种群平均适应度函数值如表9所示。

[0147] 表9 各场景下初始种群平均适应度函数值

种群初始化次数(次)	30	100	500	1000
场景一: 平均代价函数值	33.7014	33.7875	33.7575	33.7854
场景二: 平均代价函数值	29.6725	29.8234	29.8156	29.8428
场景三: 平均代价函数值	31.7752	31.5828	31.6724	31.6514

[0149] 为避免单次实验偶然因素的影响,对各场景分别进行30次仿真试验,记录结果并计算其平均值。初代种群在不同场景下的代价函数值稳定:场景一为33.7左右,场景二为29.8左右,场景三为31.6左右。表9表明,进行30次仿真实验初代种群的代价函数值对算法的性能无影响。改进羊群算法首次进行更新种群后平均代价函数值相比较遗传算法更优:场景一下IS0为16.57、GA为33.61,场景二下IS0为16.14、GA为29.88,场景三下IS0为20.29、GA为31.52,改进羊群算法具有快速全局搜索的能力。以上表明,改进羊群算法相比较遗传算法收敛速度更理想、最终解质量更优、稳定性更好,此外改进羊群算法相比遗传算法参数更少。

[0150] 分析结果表明,本申请算法的收敛速度、解质量和稳定性均明显优于遗传算法,该

算法参数更少且能够在较少次的迭代中快速收敛,稳定至最优解附近,具备跳出局部最优的能力,能够更好地解决多机协同全局目标分配问题。

[0151] 本发明的以上实施例仅用以说明而并非是对本发明实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,凡是不脱离本发明精神和范围的任何修改或局部替换,均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

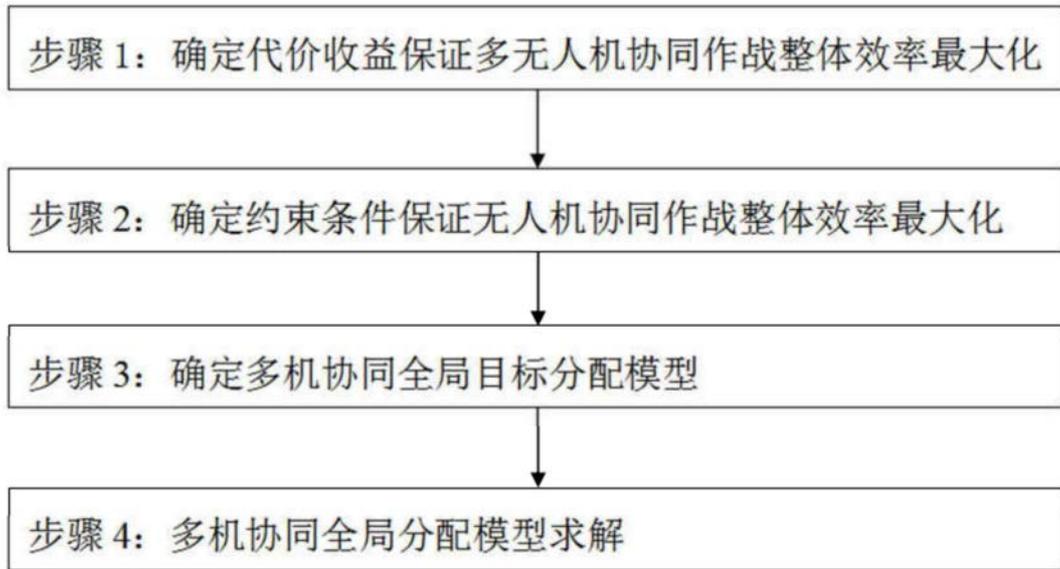


图1

第n只羊	5	6	4	1	3	6	无人机 编号
第i只羊						
第2只羊	2	4	6	3	1	5	
第1只羊	5	6	1	2	4	3	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	目标 编号

图2

第n只羊	2	4	4	3	1	2	1	3	无人机 编号
第i只羊								
第2只羊	4	1	4	3	3	1	2	2	
第1只羊	3	4	2	2	1	1	3	4	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	目标 编号

图3

第n只羊	1	2	4	3	3	1	4	2	目标 编号
第i只羊								
第2只羊	4	3	3	4	1	2	1	2	
第1只羊	1	4	3	2	4	3	2	1	
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	无人机 编号

图4

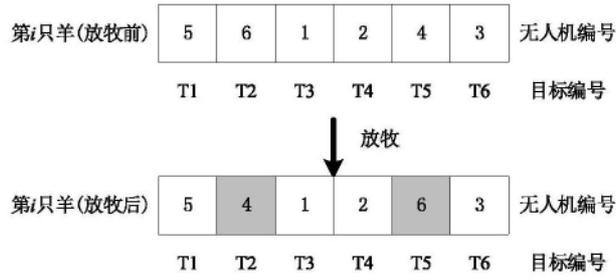


图5

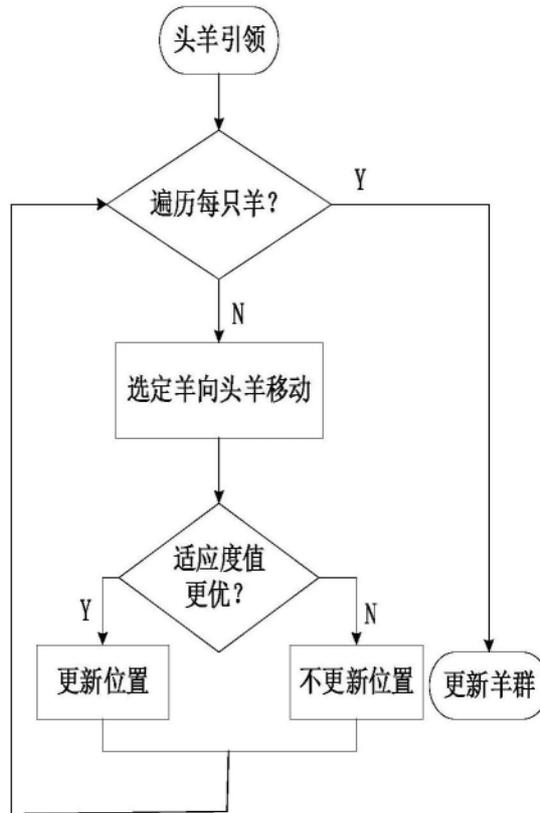


图6

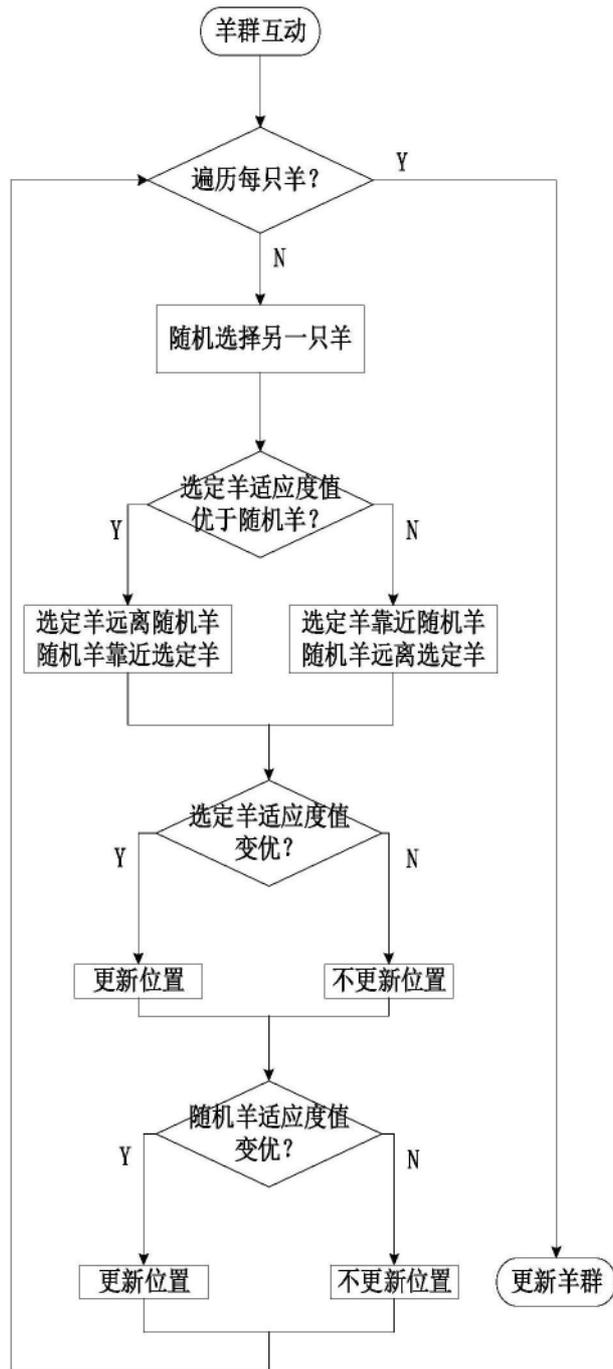


图7

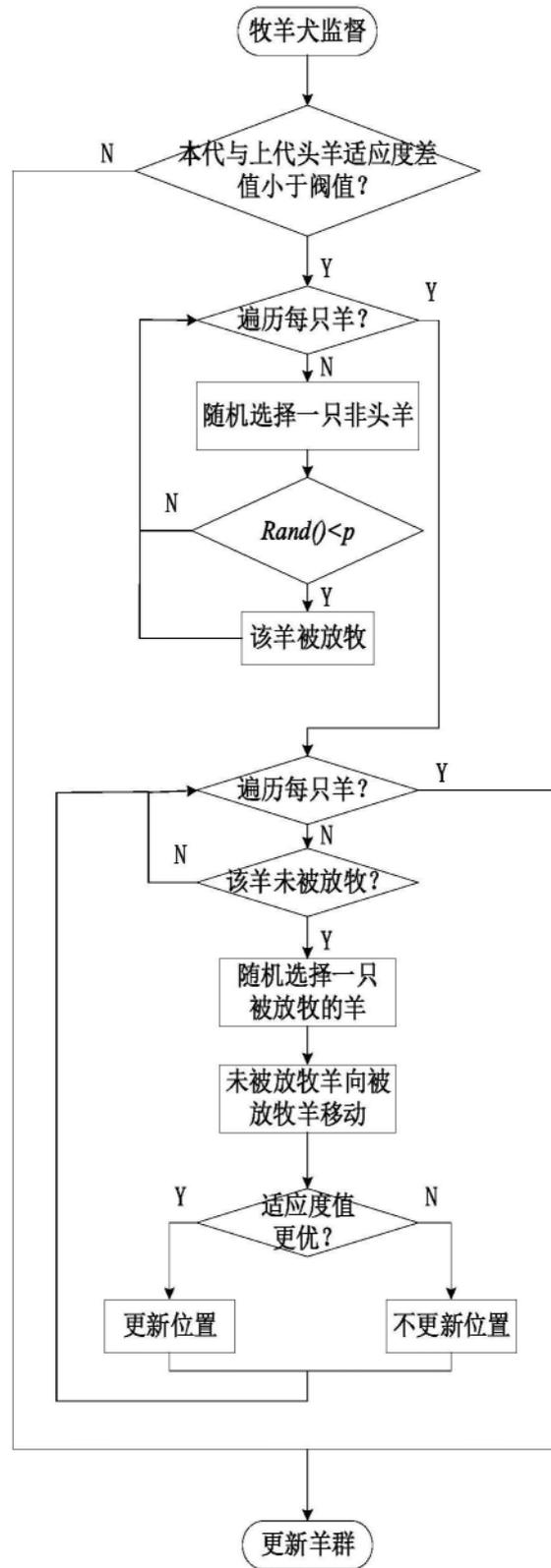


图8