



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110889625 A

(43)申请公布日 2020.03.17

(21)申请号 201911167316.9

(22)申请日 2019.11.25

(71)申请人 航天时代飞鸿技术有限公司
地址 100094 北京市海淀区丰滢东路1号
申请人 中国航天电子技术研究院

(72)发明人 姜梁 王琨 余杭 朱季 张治国

(74)专利代理机构 北京金智普华知识产权代理有限公司 11401
代理人 巴晓艳

(51) Int. Cl.
G06Q 10/06(2012.01)
G06Q 10/04(2012.01)

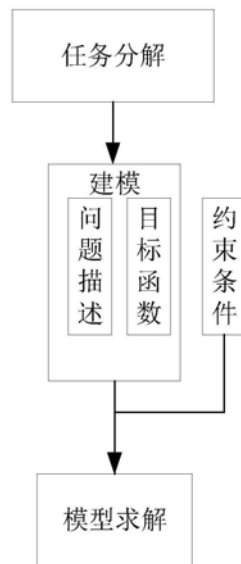
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

一种用于蜂群无人机的任务规划方法

(57)摘要

本发明提供了一种用于蜂群无人机的任务规划方法,涉及无人机应用技术领域,能够充分发挥蜂群无人机的协同一致性,使作战效能达到最优,更符合异构无人机组成编队执行异质任务且任务满足一定时序约束的蜂群无人机任务规划的需求;该方法包括:S1、根据上级下发任务建立蜂群无人机的任务模型,并根据蜂群无人机的特性制定任务规划原则,确定目标函数和优化目标;S2、根据蜂群无人机的任务特性和无人机性能,综合考虑航程约束、航时约束、执行任务能力约束和协同性约束确定模型的约束条件;S3、通过禁忌搜索算法对模型进行求解,获得近似最优解。本发明提供的技术方案适用于蜂群无人机系统任务规划的过程中。



1. 一种用于蜂群无人机的任务规划方法,其特征在于,所述方法的步骤包括:

S1、确定任务规划的原则并建立任务模型;

控制中心根据上级系统下发的任务建立蜂群无人机的任务模型,并根据蜂群无人机的特性制定任务规划原则,确定目标函数和优化目标;

S2、确定模型的约束条件;

根据蜂群无人机的任务特性和无人机性能,综合考虑航程约束、航时约束、执行任务能力约束和协同性约束确定模型的约束条件;

S3、对模型进行求解;

通过禁忌搜索算法对模型进行求解,获得近似最优解。

2. 根据权利要求1所述的用于蜂群无人机的任务规划方法,其特征在于,所述约束条件包括执行任务的时间约束和无人机的性能约束。

3. 根据权利要求1所述的用于蜂群无人机的任务规划方法,其特征在于,任务规划的原则包括:优先选取价值高的目标任务、优先选择距离近的目标任务、优先选择执行时间短的目标任务和确保能完成任务的前提下使用最少的无人机执行任务。

4. 根据权利要求1所述的用于蜂群无人机的任务规划方法,其特征在于,所述任务模型为: $Z = -\alpha \sum_k \sum_m \sum_i^{N_t} \sum_j^{N_t} T_w^j x_{ij}^{km} + \beta Dis_{max}(X)$;

其中, α 和 β 为权重, $\alpha + \beta = 1, \alpha > \beta$;

N_t 为目标数目;

i 和 j 代表目标点;

x_{ij}^{km} 表示无人机编队 x^{km} 由目标点 i 至目标点 j 执行任务; k 为无人机编号; m 为编队编号;

T_w^j 表示目标点 j 的权重;

$Dis_{max}(X)$ 所有无人机编队中航程的最大值。

5. 根据权利要求4所述的用于蜂群无人机的任务规划方法,其特征在于,蜂群无人机系统执行的任务包括监视侦察、通信中继、电子干扰、电子对抗和火力打击;监视侦察、通信中继、电子干扰、电子对抗和火力打击五种任务分别采用0、1、2、3、4表示;

故: $x_{ij}^{km} = x_{ij}^{km0} || x_{ij}^{km1} || x_{ij}^{km2} || x_{ij}^{km3} || x_{ij}^{km4}$;

当编队由目标点 i 至目标点 j 执行任意一项任务时 $x_{ij}^{km} = 1$, 否则 $x_{ij}^{km} = 0$ 。

6. 根据权利要求4所述的用于蜂群无人机的任务规划方法,其特征在于,目标点 j

的权重: $T_w^j = aT_{con}^j + b \frac{\frac{T_{val}^j}{T_{sur}^j}}{\sum_{i=0}^N \frac{T_{val}^j}{T_{sur}^j}}$;

$T_{con}^j, T_{val}^j, T_{sur}^j$ 分别代表目标 i 的置信度、目标价值和生存能力;

N 为该目标区域的目标总数;

$a+b=1, a, b \in [0, 1]$ 。

7. 根据权利要求2所述的用于蜂群无人机的任务规划方法, 其特征在于, 所述无人机性能约束包括: 作战能力约束、编队数量约束和航程约束;

所述作战能力约束具体为: 执行目标任务的无人机编队的作战能力不小于目标的生存能力之和, $\sum_k \sum_m \sum_{i=0}^{N_t} x_{ij}^{km4} \geq \sum_j^{N_k} Sur_j$;

其中, x_{ij}^{km4} 表示无人机编队 x^{km} 由目标点 i 至目标点 j 执行火力打击任务;

N_t 为目标数目;

k 为无人机编号; m 为编队编号;

i 和 j 代表目标点;

$\sum_j^{N_k} Sur_j$ 代表目标点 j 处 N_k 架无人机作战能力之和; Sur_j 为单架无人机作战能力;

所述编队数量约束具体为: 第 k 架无人机的编队数量小于该无人机所能携带的最大无人机编队数以及航程约束;

所述航程约束具体为:

$$\sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=0}^{N_t} (D_{ij} x_{ij}^{km} + D_{km}^{ij}) \leq D^{max};$$

式中: D_{ij} 为目标点 i, j 之间的距离, D^{max} 为编队的最大航程;

x_{ij}^{km} 表示无人机编队 x^{km} 由目标点 i 至目标点 j 执行任务;

D_{km}^{ij} 表示无人机编队 x^{km} 从目标点 i 至目标点 j 执行任务的总航程。

8. 根据权利要求2所述的用于蜂群无人机的任务规划方法, 其特征在于, 所述执行任务的时间约束包括: 目标任务执行次数约束和航时约束;

所述目标任务执行次数约束具体为: 编队 x_{km} 对任意目标点最多只执行一次任务;

所述航时约束具体为: 编队 x^{km} 航时约束模型为 $\sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=0}^{N_t} x_{ij}^{km} (ct_i + t_{ij} + w_j) \leq T^{max}$;

式中, ct_i 表示编队对目标点 i 执行任务的持续时间, t_{ij} 为编队从目标点 i 到目标点 j 需要的时间, w_j 为编队到达目标点 j 后开始执行任务前的等待时间; T^{max} 为编队的最大航时; N_t 为目标数目; x^{km} 代表无人机编队。

9. 根据权利要求1所述的用于蜂群无人机的任务规划方法, 其特征在于, 所述S3中对模型进行求解的具体步骤包括:

S31: 对任务进行分层排序, 创建移动邻域;

S32: 选取优先级最高的任务作为初始解;

S33: 初始化禁忌列表, 记录目标函数值以及移动操作;

S34: 对禁忌列表进行遍历, 判断是否满足收敛准则, 若满足收敛准则, 则得到最终解, 求解过程完成; 若不满足收敛准则, 进入下一步;

S35: 根据当前解改变任务的执行状态、无人机的选取和/或目标任务执行的先后顺序,

生成所有可行解；

S36:在所有可行解中寻找最优解；

S37:判断从当前解到最优解的移动是否在禁忌列表中,若在,则返回S34中是否满足收敛准则的判断;若不在,则进入下一步;

S38:将S37中的移动产生的新解添加到禁忌列表中;

S39:判断新解是否优于当前解,若优于当前解,则将新解更新为当前解,并执行S34;若新解不优于当前解,则不更新,直接执行S34;

重复上述步骤直至得出最终解,完成求解过程。

10.根据权利要求9所述的用于蜂群无人机的任务规划方法,其特征在于,收敛准则包括:移动邻域内不包含可行解、在设定的步长内最优解未发生变化和迭代次数达到设置的最大迭代次数;

满足收敛准则中的任意一项或多项时,则判断为满足收敛准则。

一种用于蜂群无人机系统的任务规划方法

【技术领域】

[0001] 本发明涉及无人机应用技术领域,尤其涉及一种用于蜂群无人机系统的任务规划方法。

【背景技术】

[0002] 当前,无人机集长时巡飞监视、持续滞空压制、即时精确打击、毁伤评估等功能于一体,在战场中的重要性日益显著。蜂群无人机系统一种使用模式是通过大型无人运输机携带多架小型无人机并在任务区域投放,多架小型无人机通过携带不同的载荷执行不同任务,并组成子群编队协同作战,实现个体的功能互补,大幅提升系统的作战效益。

[0003] 蜂群无人机系统相对于单架无人机而言,可以通过携带不同的载荷从而执行诸如侦察监视,电子干扰,打击与评估等作战任务。但由于蜂群系统构成复杂,若缺乏有效的任务规划,不仅无法体现出系统的协同作战的优势,甚至会因为任务分配的不合理导致各无人机任务发生冲突,无法完成作战任务,因而合理的任务规划对于蜂群无人机系统显得尤为重要。

[0004] 中国专利文献CN109343569A公开了一种多无人机集群自组织协同察打任务规划方法,通过将任务区域离散化遍历无人机察打任务决策的离散状态空间,然后通过分布式蚁群算法决策得到无人机的航路点,实现多无人机集群的协同搜索和打击。该方法仅考虑了每一无人机功能一致,作战能力一致。不适合于异构的蜂群无人机系统。

[0005] 中国专利文献CN109901616A公开了异构无人机群分布式任务规划方法,通过建立异构多无人机异质时序任务规划组合优化模型并分布式构建无人机集群任务包,基于此得到无冲突可执行的无人机集群任务包,最终完成异构无人机群分布式任务规划。该方案没有考虑蜂群系统中子群的存在以及无人机作战能力等特性。

[0006] 因此,基于上述缺陷,有必要研究一种用于蜂群无人机系统的任务规划方法来应对现有技术的不足,以解决或减轻上述一个或多个问题。

【发明内容】

[0007] 有鉴于此,本发明提供了一种用于蜂群无人机系统的任务规划方法,能够充分发挥蜂群无人机系统的协同一致性,使作战效能达到最优,更符合异构无人机组成编队执行异质任务且任务满足一定时序约束的蜂群无人机任务规划的需求。

[0008] 一方面,本发明提供一种用于蜂群无人机系统的任务规划方法,其特征在于,所述方法的步骤包括:

[0009] S1、确定任务规划的原则并建立任务模型;

[0010] 控制中心根据上级系统下发的任务建立蜂群无人机系统的任务模型,并根据蜂群无人机系统的特性制定任务规划原则,确定目标函数和优化目标;

[0011] S2、确定模型的约束条件;

[0012] 根据蜂群无人机系统的任务特性和无人机性能,综合考虑航程约束、航时约束、执

行任务能力约束和协同性约束确定模型的约束条件；

[0013] S3、对模型进行求解；

[0014] 通过禁忌搜索算法对模型进行求解，获得近似最优解。

[0015] 如上所述的方面和任一可能的实现方式，进一步提供一种实现方式，所述约束条件包括执行任务的时间约束和无人机的性能约束。

[0016] 如上所述的方面和任一可能的实现方式，进一步提供一种实现方式，任务规划的原则包括：优先选取价值高的目标任务、优先选择距离近的目标任务、优先选择执行时间短的目标任务和确保能完成任务的前提下使用最少的无人机执行任务。

[0017] 如上所述的方面和任一可能的实现方式，进一步提供一种实现方式，所述任务模型为：

$$Z = -\alpha \sum_k \sum_m \sum_i^{N_t} \sum_j^{N_t} T_w^j x_{ij}^{km} + \beta Dis_{max}(X);$$

[0018] 其中， α 和 β 为权重， $\alpha+\beta=1$ ， $\alpha>\beta$ ；

[0019] N_t 为目标数目；

[0020] i 和 j 代表目标点；

[0021] x_{ij}^{km} 表示无人机编队 x^{km} 由目标点 i 至目标点 j 执行任务； k 为无人机编号； m 为编队编号；

[0022] T_w^j 表示目标点 j 的权重；

[0023] $Dis_{max}(X)$ 所有无人机编队中航程的最大值。

[0024] 如上所述的方面和任一可能的实现方式，进一步提供一种实现方式，蜂群无人机系统执行的任务包括监视侦察、通信中继、电子干扰、电子对抗和火力打击；监视侦察、通信中继、电子干扰、电子对抗和火力打击五种任务分别采用0、1、2、3、4表示；

[0025] 故： $x_{ij}^{km} = x_{ij}^{km0} || x_{ij}^{km1} || x_{ij}^{km2} || x_{ij}^{km3} || x_{ij}^{km4}$ ；

[0026] 当编队由目标点 i 至目标点 j 执行任意一项任务时 $x_{ij}^{km} = 1$ ，否则 $x_{ij}^{km} = 0$ 。

[0027] 如上所述的方面和任一可能的实现方式，进一步提供一种实现方式，目标点 j 的权

$$\text{重: } T_w^j = aT_{con}^j + b \frac{\frac{T_{val}^j}{T_{sur}^j}}{\sum_{i=0}^N \frac{T_{val}^j}{T_{sur}^j}};$$

[0028] 其中， $T_{con}^j, T_{val}^j, T_{sur}^j$ 分别代表目标点 i 的置信度、目标价值和生存能力；

[0029] N 为该目标区域的目标总数；

[0030] $a+b=1$ ， $a, b \in [0, 1]$ 。

[0031] 如上所述的方面和任一可能的实现方式，进一步提供一种实现方式，所述无人机性能约束包括：作战能力约束、编队数量约束和航程约束；

[0032] 所述作战能力约束具体为：执行目标任务无人机编队的作战能力不小于目标的

生存能力之和, $\sum_k \sum_m \sum_{i=0}^{N_t} x_{ij}^{km4} \geq \sum_j^{N_k} Sur_j$;

[0033] 其中, x_{ij}^{km4} 表示无人机编队 x^{km} 由目标点 i 至目标点 j 执行火力打击任务;

[0034] N_t 为目标数目;

[0035] k 为无人机编号; m 为编队编号;

[0036] i 和 j 代表目标点;

[0037] $\sum_j^{N_k} Sur_j$ 代表目标点 j 处 N_k 架无人机作战能力之和; Sur_j 为单架无人机作战能力;

[0038] 所述编队数量约束具体为: 第 k 架无人机的编队数量小于该无人机所能携带的最大无人机编队数以及航程约束;

[0039] 所述航程约束具体为:

[0040] $\sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=0}^{N_t} (D_{ij} x_{ij}^{km} + D_{km}^{ij}) \leq D^{max}$;

[0041] 式中: D_{ij} 为目标点 i, j 之间的距离, D^{max} 为编队的最大航程;

[0042] x_{ij}^{km} 表示无人机编队 x^{km} 由目标点 i 至目标点 j 执行任务;

[0043] D_{km}^{ij} 表示无人机编队 x^{km} 从目标点 i 至目标点 j 执行任务的总航程。

[0044] 如上所述的方面和任一可能的实现方式, 进一步提供一种实现方式, 所述执行任务的时间约束包括: 目标任务执行次数约束和航时约束;

[0045] 所述目标任务执行次数约束具体为: 编队 x_{km} 对任意目标点最多只执行一次任务;

[0046] 所述航时约束具体为: 编队 x^{km} 航时约束模型为 $\sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=0}^{N_t} x_{ij}^{km} (ct_i + t_{ij} + w_j) \leq T^{max}$;

[0047] 式中, ct_i 表示编队对目标点 i 执行任务的持续时间, t_{ij} 为编队从目标点 i 到目标点 j 所需要的时间, w_j 为编队到达目标点 j 后开始执行任务前的等待时间; T^{max} 为编队的最大航时; N_t 为目标数目; x^{km} 代表无人机编队。

[0048] 如上所述的方面和任一可能的实现方式, 进一步提供一种实现方式, 所述S3中对模型进行求解的具体步骤包括:

[0049] S31: 对任务进行分层排序, 创建移动邻域;

[0050] S32: 选取优先级最高的任务作为初始解;

[0051] S33: 初始化禁忌列表, 记录目标函数值以及移动操作;

[0052] S34: 对禁忌列表进行遍历, 判断是否满足收敛准则, 若满足收敛准则, 则得到最终解, 求解过程完成; 若不满足收敛准则, 进入下一步;

[0053] S35: 根据当前解改变任务的执行状态、无人机的选取和/或目标任务执行的先后顺序, 生成所有可行解;

[0054] S36: 在所有可行解中寻找最优解;

[0055] S37: 判断从当前解到最优解的移动是否在禁忌列表中, 若在, 则返回S34中是否满

足收敛准则的判断;若不在,则进入下一步;

[0056] S38:将S37中的移动产生的新解添加到禁忌列表中;

[0057] S39:判断新解是否优于当前解,若优于当前解,则将新解更新为当前解,并执行S34;若新解不优于当前解,则不更新,直接执行S34;

[0058] 重复上述步骤直至得出最终解,完成求解过程。

[0059] 如上所述的方面和任一可能的实现方式,进一步提供一种实现方式,收敛准则包括:移动邻域内不包含可行解、在设定的步长内最优解未发生变化和迭代次数达到设置的最大迭代次数;

[0060] 满足收敛准则中的任意一项或多项时,则判断为满足收敛准则。

[0061] 与现有技术相比,本发明可以获得包括以下技术效果:本发明通过对蜂群无人机的任务规划进行合理建模,充分考虑各种约束条件,对模型进行基于禁忌搜索算法的求解,从而充分发挥蜂群的协同一致性,使作战效能达到最优;更符合异构的无人机组成编队,执行异质任务且任务满足一定时序约束的蜂群无人机任务规划的需求。

[0062] 当然,实施本发明的任一产品并不一定需要同时达到以上所述的所有技术效果。

【附图说明】

[0063] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0064] 图1是本发明一个实施例提供的用于蜂群无人机的任务规划方法的流程图;

[0065] 图2是本发明一个实施例提供的用于蜂群无人机的任务规划方法的模型求解流程图。

【具体实施方式】

[0066] 为了更好的理解本发明的技术方案,下面结合附图对本发明实施例进行详细描述。

[0067] 应当明确,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0068] 在本发明实施例中使用的术语是仅仅出于描述特定实施例的目的,而非旨在限制本发明。在本发明实施例和所附权利要求书中所使用的单数形式的“一种”、“所述”和“该”也旨在包括多数形式,除非上下文清楚地表示其他含义。

[0069] 针对目前无人机集群任务规划技术算法不具备普适性的问题,为了解决异构的无人机执行异质任务且满足一定时序约束的蜂群无人机系统任务规划需求,本发明公开一种用于蜂群无人机的任务规划方法,针对性的对该需求建立任务模型并对模型进行求解,对蜂群中的每一个编队任务进行合理分配,保证整体的作战效能最优,毁伤目标总价值最高,作战航时最短,作战损耗最小等。

[0070] 主要分为三个步骤,首先,控制中心先根据上级系统下发的任务建立蜂群无人机

系统的任务模型,并根据蜂群无人机系统的特性制定其任务规划原则,确定目标函数和优化目标。其次,充分考虑蜂群无人机系统的任务特性,根据无人机性能,综合考虑航程,航时约束,执行任务能力,协同性等确定模型约束条件,包括执行任务的时间,各无人机的性能约束等条件。最后,通过禁忌搜索算法对模型进行求解,获得近似最优解。相比现有技术,本发明提供的方法,更符合异构的无人机组成编队,执行异质任务且任务满足一定时序约束的蜂群无人机任务规划的需求。

[0071] 本发明用于蜂群无人机系统的任务规划方法的具体步骤包括:

[0072] 步骤1、确定任务规划的原则并建立任务规划数学模型;

[0073] 无人机的种类与目标任务的属性之间存在一一对应的关系,并且蜂群的指挥流程和目标的分类都存在一定的层次关系,对蜂群无人机任务规划应遵循如下原则:

[0074] 原则1、优先选取价值高的目标任务:对重要目标的监视侦察更有利于指挥官决策,同时对重要目标的火力打击也能取得最大作战收益;目标任务价值是任务分配阶段首先需要考虑的因素;

[0075] 原则2、优先选择距离近的目标:目标距离远近影响着到达目标区域的时间,距离越远的目标所需要的时间越长,同时会受到无人机航程,航时的制约,对接下来的任务产生影响;同时距离远近也决定了需要携带的燃料,反映出系统的利用率;

[0076] 原则3、优先选择执行时间短的目标任务:无人机在目标区域对目标任务执行时间越长,被敌方发现的概率就越高,导致生存概率的降低。但由于是无人装备,生存概率往往不是优先考虑的因素;

[0077] 原则4、尽量使用更少的无人机执行任务:在确保能完成全部作战任务后,尽可能提高其利用率,从而使整体作战效能最大化。

[0078] 因而,对于无人机系统的任务规划需要遵循的原则总的来说就是要以最大程度完成权重最高的目标任务为目标,以油耗低,威胁少为前提,对每一架无人机进行动态高效合理的任务规划。

[0079] 每一个任务目标都具有三个属性,即目标置信度、目标价值、目标生存能力。目标权重通过这三者加权获取。目标*i*的置信度,价值,生存能力分别为 $T_{con}^i, T_{val}^i, T_{sur}^i$ 。

[0080] 目标*i*权重

$$[0081] \quad T_w^i = aT_{con}^i + b \frac{\frac{T_{val}^i}{T_{sur}^i}}{\sum_{i=0}^N \frac{T_{val}^i}{T_{sur}^i}};$$

[0082] 其中, $\frac{T_{val}^i}{T_{sur}^i}$ 表示对目标*i*的作战效益, $a+b=1$, ($a, b \in [0, 1]$)。N为该目标区域的目标总数。

[0083] 假设目标数目为 N_t ,第*k*架无人机投放的小型无人机编队数目为 N_{km} ,其第*m*个编队为 x^{km} ,则编队执行任务*h*的二元决策变量为:

$$[0084] \quad x_{ij}^{kmh} = \begin{cases} 1, & \text{编队 } x^{km} \text{ 从目标点 } i \text{ 到目标点 } j \text{ 执行任务 } h; \\ 0, & \text{否则} \end{cases};$$

[0085] 其中 $h=0,1,2,3,4$ 分别表示监视侦察、通信中继、电子干扰、电子对抗、火力打击5种模态。

[0086] x_{ij}^{km} 表示无人机编队 x^{km} 由目标 i 至目标 j 执行任务。

$$[0087] \quad x_{ij}^{km} = x_{ij}^{km0} || x_{ij}^{km1} || x_{ij}^{km2} || x_{ij}^{km3} || x_{ij}^{km4};$$

[0088] 即,当编队由目标 i 至目标 j 执行任意一项任务时 $x_{ij}^{km} = 1$,否则 $x_{ij}^{km} = 0$ 。

[0089] 编队从同一起点出发,那么第 k 架无人运输机携带的编队数目 N_{km} 为:

$$[0090] \quad \forall k = 1,2,\dots,8: N_{km} = \sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_t} x_{0j}^{km};$$

[0091] 假设编队 x^{km} 对从目标 i 至目标 j 执行任务 h 的航程为 D_{km}^{ijh} ,那么编队 x^{km} 对目标 j 执行所有任务的总航程 $D_{km}^{ij} = \sum_{i=0}^{N_t} \sum_{h=0}^4 D_{km}^{ih} x_{ij}^{kmh}$ 。

[0092] 编队 x^{km} 的航程 Dis_{km} 为

$$[0093] \quad Dis_{km} = \sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_t} (D_{ij} x_{ij}^{km} + D_{km}^{ij});$$

[0094] 因而目标函数为:

$$[0095] \quad Z = -\alpha \sum_k \sum_m \sum_i^{N_t} \sum_j^{N_t} T_w^j x_{ij}^{km} + \beta Dis_{max}(X);$$

[0096] 其中, $\alpha+\beta=1, \alpha>\beta$; α, β 表示权重,为手动输入的值,可以根据实际情况做适当调整,值越大表示该项目的权重越大,保证无人机的作战效能最大。通过最小化目标函数 Z ,求解得到的结果,由结果可以知道每个无人机编队对应的目标,同时可知每个无人机编队所需的无人机数目从而在投放时确定编队数目 $N_{km} = \sum_m \sum_j^{N_t} x_{0j}^{km}$ 和编队中 x_{km} 的无人机数

量为 $\sum_i \sum_j x_{ij}^{km} Sur_j$; $Dis_{max}(X) = \max(\sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_t} D_{ij} x_{ij}^{km})$,表示所有无人机编队中航程最大值,假定所有无人机编队同一时间出发,通过最小化所有无人机编队中的最大航程,可以使所有任务在最短时间内完成; D_{ij} 代表由目标点 i 至目标点 j 的距离。

[0097] 步骤2、确定模型约束条件:

[0098] 由于无人机携带载荷有限,因而对目标进行火力打击能力有限,当无人机载荷消耗完毕后,无法执行之后的打击任务。因而对目标执行打击任务的无人机编队的作战能力不小于目标的生存能力之和(目标生存能力以单架无人机作战能力为单位):

$$[0099] \quad \sum_k \sum_m \sum_{i=0}^{N_t} x_{ij}^{km4} \geq \sum_j^{N_k} Sur_j;$$

[0100] 编队的无人机数目 d_{km} 不能小于对应目标的生存能力。

$$[0101] \quad \forall k, m: \sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=0}^{N_t} x_{ij}^{km4} Sur_j \leq d_{km};$$

[0102] 编队 x_{km} 对任意目标最多只执行一次任务:

$$[0103] \quad \forall j = 1, \dots, N, i \neq j, h = 0, 1, 2, 3, 4: \sum_{i=1}^N x_{ij}^{kmh} \leq 1;$$

[0104] 第 k 架无人运输机的编队数量小于该无人机所能携带的最大无人机编队数:

$$[0105] \quad \forall k = 1, 2, \dots, 8: N_{km} = \sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_t} x_{0j}^{km} \leq N_{max};$$

[0106] 编队 x^{km} 航程约束:

$$[0107] \quad \sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=0}^{N_t} (D_{ij} x_{ij}^{km} + D_{km}^{ij}) \leq D^{max};$$

[0108] D_{ij} 为目标点 i, j 的距离,编队的最大航程为 D^{max} ;

[0109] D_{km}^{ij} 表示编队 x^{km} 对从目标 i 前往目标 h 执行所有任务的总航程,其中:

$$D_{km}^{ij} = \sum_{i=0}^{N_t} \sum_{h=0}^4 D_{km}^{ih} x_{ij}^{kmh}, h \text{表示执行的任务。}$$

[0110] 假设编队 x^{km} 对目标 i 执行任务 h 的最早时刻为 E_{ih} ,最晚时刻为 L_{ih} ,开始执行任务 h 的时刻为 S_{ih} , $E_{ih} \leq S_{ih} \leq L_{ih}$ 那么无人机对目标 i 执行任务 h 的时间窗为 $[E_{ih}, L_{ih}]$,当 $i < j$ 时, $L_{ih} \leq E_{jh}$,因此对目标 i 执行所有任务的总时间窗为 $[E_i, L_i] = [E_{i0}, L_{i4}]$ 。若编队完成目标 i 的任务后继续对 j 执行任务,则开始执行目标 j 任务的时刻为 $S_j = S_i + ct_i + t_{ij} + w_j$ 。其中, ct_i 表示编队对目标 i 执行任务的持续时间, t_{ij} 为编队从 i 到 j 所需要的时间, w_j 为编队到达目标 j 后与开始执行任务的等待时间。

[0111] 编队 x^{km} 航时约束:

$$[0112] \quad \sum_{i=0}^{N_t} \sum_{j=0}^{N_t} x_{ij}^{km} (ct_i + t_{ij} + w_j) \leq T^{max}。$$

[0113] 步骤3、模型求解:

[0114] 禁忌搜索算法的设计主要涉及以下概念:

[0115] A) 初始解生成:

[0116] 由于任务分配优先考虑权重高的目标任务,因而对所有无人机要执行的作战任务按任务权重进行排序,优先选择权重大的任务进行尝试,若不存在可行解则删除该任务,然后更新的任务列表,再选择其中权值最大的任务进行求解,反复进行上述操作直到任务列表为空或者得到初始解为止。

[0117] B) 移动邻域的设计:

[0118] 移动的含义是指从当前解产生新解,在本发明中包括改变任务的执行状态、无人机的选取以及目标任务执行的先后顺序等。

[0119] 将所有任务按任务权重进行优先级排序并划分好层次。首先将邻域结构中待插入的任务设置为最高层优先级的任务(当前可选任务中仅分配了一部分任务,仍有剩余任务未分配,从未分配的任务集中选择一个任务插入),然后随着循环的增加,逐步插入优先级较低的任务;最终将所有可行的任务分层排序。

[0120] 在同一层次中,针对每个无人机区分出有能力完成的任务集合和划分的优先级层

次的任务集合取交集,从而将邻域结构进一步缩小,直到只需要考虑优先级层次与对应某一无人机相关的任务集,然后再逐层逐个无人机进行迭代改进。

[0121] C) 禁忌列表:

[0122] 禁忌列表用来记录之前无人机的移动操作和目标函数值信息,禁止返回,避免重复搜索。

[0123] D) 评价函数:

[0124] 采用目标函数为评价函数,衡量目标解的好坏,目标函数值越小,目标解就越好。

[0125] E) 特赦准则:

[0126] 当在禁忌范围内移动得到的评价函数解优于当前最优解时,该解也被接受;无人机完成的任务总价值远大于当前评价函数下最优解的任务总价值,该解也考虑被特赦。

[0127] F) 收敛准则:

[0128] 理论上来说,当把禁忌列表的长度设为足够大时,可以对整个状态空间可行解进行完整的遍历,但是在大规模作战场景下,计算时间过长,因而在实际应用中,通常设定一定的收敛准则来得到近似的最优解。收敛准则设计为当禁忌邻域内不包含可行解,或者在一定步长内最优解未发生变化,或者迭代次数达到设置的最大迭代次数,算法终止。

[0129] 模型求解的流程如图2所示,具体步骤包括:

[0130] 步骤1:对任务进行分层排序;即创建移动邻域,首先按照蜂群无人机需要执行的任务按优先级排序并划分好层次;

[0131] 步骤2:从分层排序后的任务中选取任务优先级最高的解当做初始解X;

[0132] 步骤3:初始化禁忌表,记录目标函数值以及移动操作,包括无人机任务的插入、删除和交换;

[0133] 步骤4:对禁忌表进行遍历,判断是否满足收敛准则,若满足收敛准则,则得到最终解;若不满足收敛准则,进入下一步;

[0134] 步骤5:根据当前解改变任务的执行状态、无人机的选取以及目标任务执行的先后顺序,生成所有可行解;

[0135] 步骤6:在所有可行解中寻找最优解;最优解的判断是以任务规划的原则为指导的,越满足任务规划的原则越优异;

[0136] 步骤7:判断从当前解到最优解的移动是否在禁忌列表中,若在列表中,则执行步骤4中的收敛准则的判断,否则进入下一步;

[0137] 步骤8:通过该移动生成新的解,即步骤6中的最优解,并将该最优解添加到禁忌列表中;

[0138] 步骤9:判断新解是否优于当前解,若优于当前解,则将新解更新为最优解,并执行步骤4;若新解不优于当前解,则不更新最优解,直接执行步骤4;

[0139] 移动是指通过改变当前解的无人机任务的执行状态、无人机的选取和/或目标任务执行的先后顺序从而到最优解的一种变化。

[0140] 重复上述步骤直至得出最终解。

[0141] 以上对本申请实施例所提供的一种用于蜂群无人机的任务规划方法,进行了详细介绍。以上实施例的说明只是用于帮助理解本申请的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本申请的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,

综上所述,本说明书内容不应理解为对本申请的限制。

[0142] 如在说明书及权利要求书当中使用了某些词汇来指称特定组件。本领域技术人员应可理解,硬件制造商可能会用不同名词来称呼同一个组件。本说明书及权利要求书并不以名称的差异来作为区分组件的方式,而是以组件在功能上的差异来作为区分的准则。如在通篇说明书及权利要求书当中所提及的“包含”、“包括”为一开放式用语,故应解释成“包含/包括但不限于”。“大致”是指在可接收的误差范围内,本领域技术人员能够在一定误差范围内解决所述技术问题,基本达到所述技术效果。说明书后续描述为实施本申请的较佳实施方式,然所述描述乃以说明本申请的一般原则为目的,并非用以限定本申请的范围。本申请的保护范围当视所附权利要求书所界定者为准。

[0143] 还需要说明的是,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的商品或者系统不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种商品或者系统所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的商品或者系统中还存在另外的相同要素。

[0144] 应当理解,本文中使用的术语“和/或”仅仅是一种描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,A和/或B,可以表示:单独存在A,同时存在A和B,单独存在B这三种情况。另外,本文中字符“/”,一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。

[0145] 上述说明示出并描述了本申请的若干优选实施例,但如前所述,应当理解本申请并非局限于本文所披露的形式,不应看作是对其他实施例的排除,而可用于各种其他组合、修改和环境,并能够在本文所述申请构想范围内,通过上述教导或相关领域的技术或知识进行改动。而本领域人员所进行的改动和变化不脱离本申请的精神和范围,则都应在本申请所附权利要求书的保护范围内。

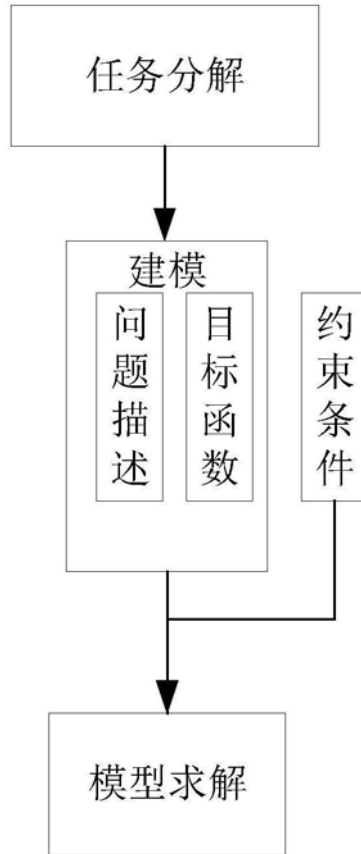


图1

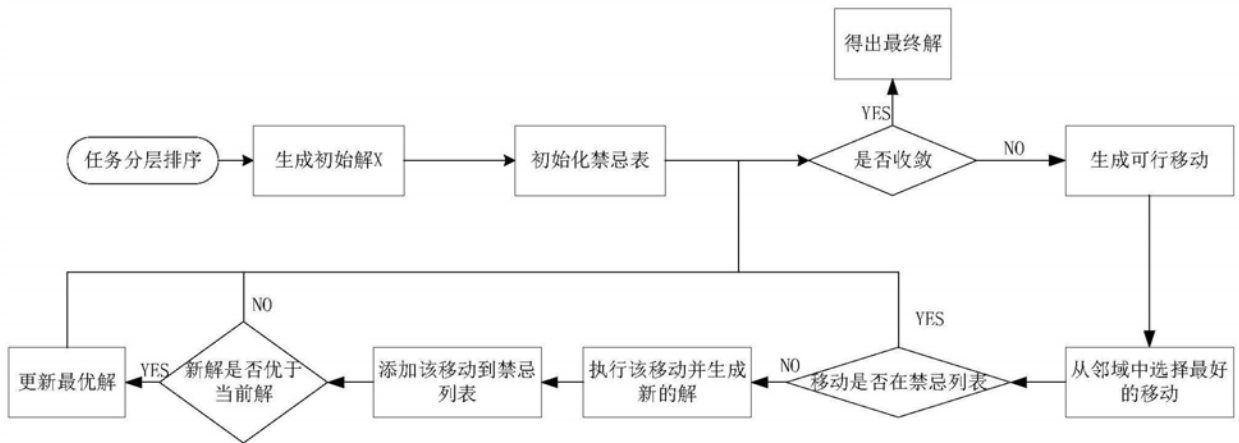


图2