

基于元任务字典的无人集群作战任务分解技术研究

邸江芬, 张 勇, 李晓琴, 王亚儒, 马汝冰

(北方自动控制技术研究所, 太原 030006)

摘 要: 目前作战任务生成以人工分解为主, 难以适应无人集群作战对作战任务快速、自动、精准分解分配的需求。本文中首先对作战场景特征要素建模、无人平台任务能力, 建立场景与执行元任务的关联关系, 分析基于元任务字典的无人集群作战任务分解机制; 然后建立任务分解数学问题描述, 提出扩展的HTN算法。

关键词: 无人机群; 作战场景作战任务分解 HTN 任务字典

Research on Unmanned Cluster Combat Mission Decomposition Method Based on Meta-task Dictionary

DI Jiangfen, ZHANG Yong, LI XiaoQin, WANG Yaru, MA Rubing

(North Automatic Control Technology Institute, Taiyuan 030006 China)

Abstract: At present, the combat task generation is dominated by manual decomposition, which is difficult to adapt to unmanned cluster combat quickly, automatic, accurate decomposition and distribution demands. The paper first establishes the models of combat characteristic elements, the task capability of unmanned platform, the correlation between the scene and the performance of the meta-function fatigue. Secondly, the task decomposition mechanism of unmanned cluster combat is analyzed based on meta-function multi-dictionary. Finally, a task decomposition mathematical problem description is established and an extended HTN algorithm is proposed.

Key words: combat characteristic elements; unmanned cluster combat; combat task generation; HTN; Task-Dictionary

1 引言

自主无人作战系统逐步走向实战, 在未来战争中发挥不可替代的重要作用^[1]。无人集群任务规划中的任务分解, 是无人集群任务规划和作战使用过程中需重点考虑的问题^{[2][3]}, 是基于对集群任务的理解, 对空、地集群的任务合理分解, 也是集群任务规划^[4]的核心。目前作战任务生成以人工分解为主, 难以适应无人集群作战对作战任务快速、自动、精准分解分配的需求, 因此亟待分析无人装备的作战能力、典型作战场景和作战样式下, 无人集群任务分解的问题建模和自动任务分解算法, 为无人集群自主决策和自主规划^[5]提供支撑。

2 总体设计

2.1 设计思路

不同的作战场景需求不同的作战任务, 不同的作战任务适用于不同的作战场景, 作战场景包括兵力、

时间、空间、战场态势等要素, 而作战任务具备作战时间、作战区域、作战兵力等属性, 且战场环境也是考虑拟定作战任务的重要条件, 因而作战任务和作战场景密切相关。故可探寻作战场景和作战任务的共性要素, 分析两者之间的关联关系, 研究作战场景与作战任务的匹配机理。通过对作战场景要素建模; 对无人集群类型众多无人作战平台的性能参数、载荷种类、作战能力及用途等分析, 形成对作战行为的元任务字典描述及表征; 根据作战场

景去匹配作战样式及元任务字典中的作战任务,设计自动分解算法,对匹配到的作战任务模板进行细化分解和调整,最终生成联合作战任务清单^{[6][7]}。支撑作战任务的合理分配以及调整,确保无人平台能够发挥其最大作战效能。

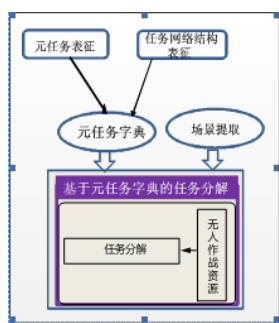


图1 基于元任务字典的无人集群作战任务分解总体思路

2.2 机理分析

基于元任务字典的无人集群作战任务分解机制如图2所示。

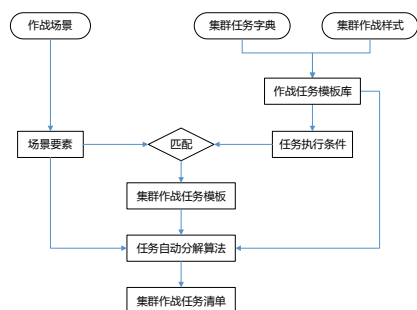


图2 基于元任务字典的无人集群作战任务分解机制

首先,基于集群作战任务的作战场景,提取作战场景中关于兵力、火力、时间、空间、水文、气象、地形、道路、电磁环境、人文等方面^[8]的数据作为特征要素,要求提取的特征要素可以完整的复现作战场景的关键数据。

其次,分析无人集群作战等典型作战样式的作战流程^{[9][10][11]},提取作战任务及其执行条件(包括兵力、时间、空间、气象、地形、道路等),分析无人集群的类型、性能参数、载荷种类、作战能力及用途等因素,建立范式化描述的元任务字典。

再次,对作战场景的特征要素与元任务字典中的任务执行条件进行匹配,当相似度大于给定阈值

时,选择匹配到的作战样式及其作战任务模板作为集群作战任务模板。进而,采用任务分解算法^[12]进行自动分解,得到无人集群作战任务清单。

3 无人集群任务分解方法建模

3.1 集群协同作战任务建模和表征方法

由于无人作战平台类型众多,其性能参数、载荷种类、作战能力及用途等存在差异,对无人集群作战行为进行建模,形成对作战行为的正交完备描述及表征,是无人集群作战行为规划及临机调整的基础。元任务建模理论是实现作战任务范式化描述和表征的重要途径,能够通过对任务类型、任务执行影响因素的抽象与提炼,形成对作战任务的精确化、数字化描述,形成无人作战元任务集。

任务的规范化描述如下图所示。作战任务通过任务清单及任务关系描述,任务清单通过任务描述,任务通过任务内码、任务序号、任务名称、任务类型等描述;任务关系通过任务内码、关系任务内码等属性描述。详见下图3所示。

3.2 元任务字典构建方法

元任务建模能够通过对任务类型、任务执行影响因素的抽象与提炼,形成对作战任务的精确化、数字化描述,形成无人作战元任务集。还能够根据无人集群的类型、性能参数、载荷种类、作战能力及用途等因素,建立起无人集群与作战元任务字典之间的映射关系。

3.3 场景特征要素建模

场景特征要素重点考虑兵力特征要素、时间特征要素、空间特征要素、战场环境特征要素及战场目标特征要素^[13]。各类场景要素的主要属性如下表所示:

4 基于元任务字典的集群任务分解算法

扩展 HTN(Hierarchical Task Network, HTN)^[14]规划方法的基本思想是不断地将高层复合任务分解为简单的子任务。当所有的任务都是可以直接执行的元任务,分解过程停止。HTN规划中任务规划P定义为一个三元组 $P = \{I, W, D\}$ 。其中I表示战场态势的初始状态;W表示任务网络;D表示规划域知识^[15]。

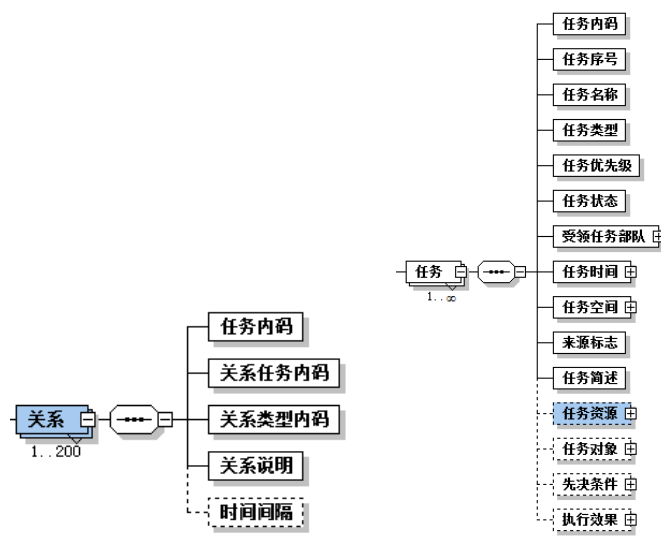


图3 任务网络及任务表征描述

序号	场景特征要素	主要内容
1	兵力特征要素	编组兵力要素
2		武器装备要素
3	时间特征要素	某一时间段(点)。
4	空间特征要素	物理空间、信息空间、认知空间等。
5	战场环境特征要素	地理环境 气象环境 电磁环境 水文环境 战场人工环境
6	战场目标特征	目标基本属性 目标预测属性 目标关联属性

4.1 任务分解问题描述

1) 任务集合T

令任务集合T中子任务为 T_{ij} : $T = \{T_{ij} | i = 1, 2, \dots, x, j = 1, 2, \dots, y\}$

i表示任务层级,该层的任务数量记为N,j表示排序后的任务序号,即 T_{ij} 为第i层的第j个任务。单个子任务定义为一个四元组: $T_{ij} = \{name, ID, plist, dtime\}$ 。其中name为任务名称;ID为任务编号;plist为任务的属性特征参数列表。dtime为子任务的时间集。

2) 任务关系集合R

R为任务分解问题中复杂相互关系集合,令 $R =$

$\{R_{set}, \phi\}$ 。其中 R_{set} 为逻辑关系集合, ϕ 为约束关系集合。逻辑关系集合 R_{set} : 表示任务间的依赖关系,与集群作战任务关系结合,综合得出任务逻辑关系集合。令 $T_{ia} \rightarrow T_{ib}$ 表示源任务 T_{ia} 与目标任务 T_{ib} 之间的关系。取任务 T_{ia} 的关系集为 $R_{setia} \in R_{set}$ 。任务间的逻辑关系如下表。

约束关系集合 ϕ : 约束关系集合 ϕ 是对分解方法的选择以及分解过程的约束。令 $\phi = \{\phi_t, \phi_c\}$, ϕ_t 为时间约束, $\phi_t = \{c_{deadline}, c_{Rset}, c_{deadline}\}$ 为任务的时长约束; c_{Rset} 为任务间时序关系约束, c_{Rset} 与逻辑关系集合 R_{set} 关联。 ϕ_c 为成本约束。

序号	任务关系名称	符号表示	任务关系含义
1	并发促进关系	$\text{Facilitate}(T_{ia}, T_{ib})$	T_{ia} 任务的执行结果对 T_{ib} 任务存在有利促进影响。
2	并发阻碍关系	$\text{Hinder}(T_{ia}, T_{ib})$	T_{ia} 任务的执行结果对 T_{ib} 任务存在不利阻碍影响。
3	顺序与关系	$\text{EnableAnd}(T_{ia}, T_{ib})$	只有在 T_{ia} 被执行后, T_{ib} 才允许被执行,且 T_{ia} 任务和 T_{ib} 任务都需成功执行,其父任务才可成功执行。
4	顺序选择关系	$\text{EnableSelect}(T_{ia}, T_{ib})$	只有在 T_{ia} 被执行后, T_{ib} 才允许被执行,且 T_{ia} 任务和 T_{ib} 任务仅需成功执行一个,其父任务即可成功执行。

3) 规划域知识D

取任务 T_{ij} ,令 $D=\{M, OP\}$ 。 M 为任务分解方法集,有 $m(k) \in M_{actij} \in M$, M_{actij} 为任务 T_{ij} 的子分解方法集。 $m(k)$ 为 M_{actij} 中一个分解方法, k 为序号。 $m(k)=\{name', W_{m(k)}\}$, $name'$ 为复合任务的名称, $W_{m(k)}$ 为方法 $m(k)$ 对应的任务网络。

4.2 扩展HTN规划集群作战任务分解算法流程

设定分类标准 g ,若 $g=1$,任务 T_{ij} 为复合任务;若 $g=0$,任务 T_{ij} 为元任务。依据时间约束 ϕ_i 对第一层待分解任务排序,并分配任务序号 j ,依据任务序号 j 顺序选择任务执行分解流程。

依据任务序号取任务 T_{ij} 判断类型为复合任务后,将任务 T_{ij} 的参数列表 $plist=\{function\}$ 作用于任务分解方法集 M ,得到任务 T_{ij} 的子方法集 M_{actij} 。令子方法集 M_{actij} 中子方法 $m(k)$ 个数为 Q ,依次调用子方法集 M_{actij} 中 Q 个方法分解任务 T_{ij} 。并通过判断是否可以将任务 T_{ij} 替换为对应方法 $m(k)$ 的任务网络来完成,判定所选方法 $m(k)$ 是否为有效方法。若替换成功,保留有效方法 $m(k)$,同时将 T_{ij} 及分解后的子任务集存放于任务网络 W_0 中;若替换失败则分解失败,从子方法集 M_{actij} 中移除无效方法 $m(k)$ 。算法流程如下图4所示:

5 结束语

在未来战争中大量不同类型、不同性能的无人装备组成的集群越来越多的运用到多种作战场景执行不同的任务,在对其进行任务规划过程中,针对无人集群作战对作战任务快速、自动、精准分解分配的需求。本文中首先对作战场景特征要素建模、元任务字典构建,分析基于元任务字典的无人集群作战任务分解机制;并建立任务分解数学问题描述,最后采用扩展的HTN算法流程解决无人集群任务自动分解,为无人集群自主规划、自主决策提供前提。

参 考 文 献

- [1] 毛红保,田松,晁爱农.无人机任务规划[M].北京:国防工业出版社,2015.
- [2] 王然然,魏文领,杨铭超等.考虑协同航路规划的多无人机任务分配[J].航空学报.2020(41)
- [3] 陆海空应用中心.多军种战术、技术和程序(MTTP)无人机系统战术应用.北京:知远战略与防务研究所.2015
- [4] 万路军,姚佩阳,孙鹏.有人/无人作战智能体分布式任务分配方法[J].系统工程与电子技术.2013.2,35(2):310-317.
- [5] 樊锐,张鑫龙,马磊等.有人/无人协同作战研究[J].中国电子科学研究院学报.2020.3,15(3):230-236.

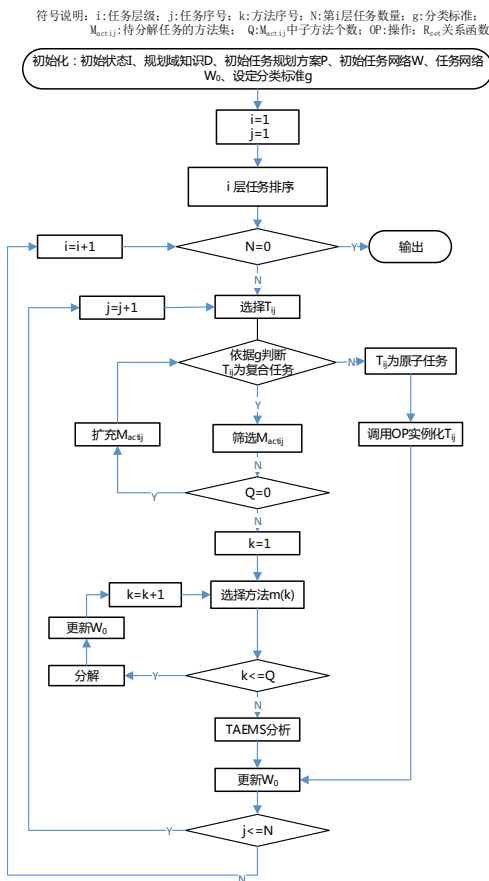


图4 作战任务分解算法流程

- [6] 齐智敏,黄谦,张海林.智能无人集群作战任务规划系统架构设计[J].军事运筹与系统工程.2019.3.
- [7] 李浩,范翔宇,金宏斌等.基于集群智能的无人机集群作战任务规划研究[M].国防工业出版社.2019.9.
- [8] 吕震华,高亢.美国无人集群城市作战应用发展综述[J].中国电子科学研究院学报.2020.8,15(8):738-745.
- [9] 唐嘉钰,李相民,代进进.美军无人机防空压制作战运用分[J].飞航导弹.2020.5.
- [10] 李五洲,胡雷刚,王峰.美军直升机与无人机蜂群协同作战使用分析[J].中国电子科学研究院学报.2020.3,15(3):230-236.
- [11] 董文洪,马培蓓,纪军.攻击型无人机作战过程研究[J].战术导弹技术.2018.1.
- [12] 胡利平,梁晓龙,何吕龙等.基于情景分析的航空集群决策规则库构建方法[J].航空学报.2020.6.
- [13] 马硕,马亚平.异构无人系统群协同作战任务规划方法[J].指挥控制与仿真.2019.4.
- [14] 耿松涛,操新文,李晓宁等.基于扩展层级任务网络的联合作战电子对抗任务分解方法[J].装甲兵工程学院学报.2018.32(5):8-13.
- [15] 李晶晶,王红卫,祁超等.HTN规划中的资源缺项识别方法[J].系统工程理论与实践.2013.33(7):1729-1734.

作者简介:

邸江芬(1976-),女,硕士研究生,正高级工程师,研究方向:无人作战任务规划技术。本文通讯作者。

张勇(1950-),男,硕士研究生,主任/正高级工程师,研究方向:指挥信息系统,系统工程。