

基于 CNDLS 的空中多编组时限约束任务分配方法

姚佩阳¹, 万路军¹, 周翔翔², 税冬东¹

(1.空军工程大学信息与导航学院,陕西西安,710077;2.95616部队,四川成都,611531)

摘要 针对空中多编组任务分配具有整体任务完成时间限制和个体任务完成时窗限制的特点,以最高任务执行效率为目标,建立了包含时限约束的多编组任务分配数学模型。分析编组在作战过程中的资源损耗,构建了编组资源能力动态更新模型,使所建模型更为符合实际作战。在动态列表规划选择任务、量子遗传算法分配编组的基础上,设计了用于求解该模型的循环嵌套动态列表规划(CNDLS)的任务分配方法。针对作战想定进行仿真计算,仿真结果表明所建模型和所提方法能通过多次迭代可实现一定资源和时限约束下的最佳多编组任务分配。

关键词 任务分配;循环嵌套动态列表规划;个体任务时窗限制;任务完成时间限制;优先权系数

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.05.006

中图分类号 TP237.5 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)05-0021-06

Time Constraint Task Allocation Methods in Multiple Aerial Group Based on Circulative Nested-dynamic List Scheduling

YAO Pei-yang¹, WAN Lu-jun¹, ZHOU Xiang-xiang², SHUI Dong-dong¹

(1.Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China;
2. Unit 95616, Chengdu 611531, China)

Abstract: Aimed at the characteristic of whole task completion time constraint and single task time window constraint of task allocation in multiple aerial grouping, the time constraint mathematical model in pursuit of maximal task execute efficiency is established. The wastage of group resource in combat is analyzed, and grouping resource capability dynamical renewal model is built so as to make the model adapt to the realistic situation. The circulative Nested-DLS task allocation algorithm is advanced based on nested dynamic list scheduling, in which the dynamic list scheduling selected task and the quantum genetic algorithm chosen best group for the task. At last, the superiority and applicability of this approach are illuminated by using the simulation of campaign assumption.

Key words: group task allocation; circulative nested dynamic list scheduling; task priority coefficient; group priority coefficient; time window constraint; task completion time constraint

在作战任务日益复杂和多样的趋势下,许多任务需要多个空中作战智能体(Aerial Combat A-

gent, ACA)相互协作方能完成。通过多个ACA形成混合机群执行复杂任务成为提高作战效益的有效

收稿日期: 2013-03-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70771157, 61273048);空军工程大学信息与导航学院博士创新基金资助项目(KDY2011-002)

作者简介: 姚佩阳(1960—),男,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事指挥控制理论与技术研究。

E-mail: ypy-664@163.com

途径^[1-3]。实际执行作战任务时,会根据 ACA 能力属性特征形成多个编组,每个编组视为一个实体。编组执行的复杂序列任务之间会具有时序和依赖关系,多编组任务分配是以给定的任务及其相互关系为基础,以优化整体任务的执行效率为目标,将编组合理分配给存在时序逻辑关系的任务,该类问题属于时间扩展型任务分配^[4]。随着现代战争节奏不断加快,空中多编组进攻作战,越来越强调“窗口作战”理念^[5],许多待执行的作战任务必须限定在一定时间窗口内完成,这需要在制定任务分配方案时对任务的时间窗属性加以考虑。此外,一场空中进攻战役实施前,战役完成时间是事先确定的,战役时限不以任务计划的改变而调整^[6],使得制定的计划方案执行时间必须在规定时限以内。综上,本文考虑个体任务时窗约束和整体任务完成时限约束,建立时间扩展型空中多编组时限约束任务分配(Time Constraint Task Allocation, TCTA)数学模型,以启发式动态列表规划(Dynamic List Scheduling, DLS)^[7]为基本框架,嵌入量子遗传算法(Multidimensional Dynamic List Scheduling, MDLS)并设计基于循环嵌套动态列表规划(Circulative Nested Dynamic List Scheduling, CNDLS)的问题求解算法,确保编组实现满足任务时序关系的全局最优。

1 多编组时限约束任务分配问题描述

1.1 基本要素定义

1)任务(Tasks, T):包含 N 个任务的集合 $T = \{T_i | (i=1, 2, \dots, N)\}$,每个任务 T_i 有如下属性:任务处理时间 $t_i^{\text{dispose}} = t_i^{\text{finish}} - t_i^{\text{start}}$,其中 t_i^{finish} 为任务 T_i 的结束时间, t_i^{start} 为任务 T_i 的开始时间;任务的时间窗约束 $[t_i^{\text{sb}}, t_i^{\text{fb}}]$, t_i^{sb} 为任务 T_i 最早开始时刻, t_i^{fb} 为任务 T_i 最晚开始时刻,默认时间窗口一定满足条件 $t_i^{\text{fb}} - t_i^{\text{sb}} > t_i^{\text{dispose}}$;任务 T_i 的地理坐标位置 $H_{T_i} = (x_i, y_i)$;任务的资源需求向量 $\mathbf{R} = \{R_l | (l=1, 2, \dots, L)\}$, R_l 为成功处理任务 T_i 所需的第 l 种类型资源能力值, L 为资源能力类型数量;任务时序关系 G_T ,用包含 N 个节点的有向非循环图表示,每个节点对应一个任务 T_i 。

2) ACA 编组(ACA group, AG):由一个或多个 ACA 组成,是资源能力的载体。记包含 M 个编组的 ACA 编组集为 $AG = \{AG_m | (m=1, 2, \dots, M)\}$,每个编组 AG_m 具有如下属性:平均移动速率为 v_m ;初始资源能力矢量 $\mathbf{P}_m = \{R_{ml} | (l=1, 2, \dots, L)\}$, R_{ml} 是第 l 种类型的资源能力值;地理位置变量 $(x_{AG}^{(m)}, y_{AG}^{(m)})$ 。

1.2 任务分配过程的变量定义

1)编组一任务的分配变量 φ_m :若 AG_m 分配给 T_i ,则 $\varphi_m = 1$;否则 $\varphi_m = 0$ 。

2)编组在任务间的转移变量 x_{ijm} :若 AG_m 在执行 T_i 后被分配给 T_j ,则 $x_{ijm} = 1$;否则 $x_{ijm} = 0$ 。同一任务间不存在转移变量,若 $i=j$, $x_{ijm} = 0$ 。

3)任务的顺序变量 e_{ij} :若 T_i 必须在 T_j 开始执行前完成,则 $e_{ij} = 1$;否则 $e_{ij} = 0$ 。

4)任务集 T 中所有任务的完成时间 $t_{TF}(T, G_T)$ 。

5)任务 T_i 对 l 种类型资源需求满足度 $\alpha_T(i, l)$ 用获得资源能力值 \tilde{R}_l 与资源需求值之比 R_l 表示:

$$\alpha_T(i, l) = \begin{cases} 1 & , \tilde{R}_l \geq R_l \\ \tilde{R}_l / R_l & , \tilde{R}_l < R_l \end{cases} \quad (1)$$

记 $A(i) = \{k | R_k > 0\}$ 是 T_i 所需资源类型的集合, $|A(i)|$ 是 T_i 所需资源类型的能力值,任务 T_i 的资源满足度 $\alpha_T(i)$ 是 T_i 对所有类型资源需求满足度的平均值。

$$\alpha_T(i) = \sum_{k \in A(i)} \alpha_T(i, k) / |A(i)| \quad (2)$$

6)任务执行质量 $q_T(i)$ 是对任务 T_i 完成程度的度量,是资源满足度 $\alpha_T(i)$ 的函数。 $q_T(i) \in (0, 1)$, $q_T(i)$ 越大说明任务 T_i 的完成程度越好, $q_T(i)$ 的大小由 $\alpha_T(i)$ 决定,采用式(3)近似表示 $q_T(i)$ 和 $\alpha_T(i)$ 之间的函数关系。

$$q_T(i) = [1 - \exp(8 \times (1 - 2\alpha_T(i)))]^{-1} \quad (3)$$

1.3 编组资源能力的更新模型

记 T_i 的资源能力需求矢量 $\mathbf{P}_T = \{R_l\}$,需明确 AG_m 在 T_i 中每类资源的实际消耗量 \tilde{R}_l :

$$\tilde{R}_l = \begin{cases} 0 & , R_l = 0 \\ R_{ml} & , R_{ml} \leq R_l \\ R_l & , R_{ml} > R_l \end{cases} \quad (4)$$

AG_m 执行 T_i 后,其第 l 类资源能力更新为:

$$R_l^{\text{renewed}} = R_l - \omega \tilde{R}_l \quad (5)$$

式中 ω 为第 l 种资源能力损耗系数,只与第 l 种资源能力的特点相关,与编组本身和执行的任务无关。

编组资源能力更新模型可表示为:

$$R_l^{\text{renewed}} = \begin{cases} R_{ml} & , R_l = 0 \\ R_{ml}(1 - \omega) & , R_{ml} \leq R_l \\ R_{ml} - \omega R_l & , R_{ml} > R_l \end{cases} \quad (6)$$

任务完成后,更新编组资源能力,编组 AG_m 资源能力更新为 $\mathbf{P}_m^{\text{renewed}} = \{R_{m1}^{\text{renewed}}, R_{m2}^{\text{renewed}}, \dots, R_{mL}^{\text{renewed}}\}$ 。

1.4 问题模型的约束分析与目标函数

1.4.1 任务分配问题的约束分析

1.4.1.1 编组任务的分配约束

若编组 AG_m 与任务 T_i 存在分配关系,则 AG_m 是在执行完某一任务 $T_{i'}$ 后被分配执行 T_i ,同时 AG_m 在执行完 T_i 后将会被分配执行下一任务 T_j ,满足:

$$\sum_{i'=0}^N x_{i'm} - \varphi_m = 0 \quad i', i \in [1, N]; m \in [1, M] \quad (7)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{ijm} - \varphi_m = 0 \quad i, j \in [1, N]; m \in [1, M] \quad (8)$$

1.4.1.2 任务的资源能力需求约束

执行任务 T_i 的资源能力如果过低,任务执行效果将远低于期望效果,因此要保证每个任务的资源满足度 $a_r(i)$ 高于某一下限阈值 ϕ ,即:

$$a_r(i) \geq \phi \quad i \in [1, N] \quad (9)$$

式中 ϕ 由专家结合任务特点给出,作为输入参数。

1.4.1.3 任务间的时序约束

以 x_{ijm} 的值来判断编组 AG_m 在任务 T_i 和 T_j 之间存在的关系,即每个任务的处理必须在所有前导任务都处理完成之后。若 $x_{ijm} = 1$,则任务 T_j 的执行开始必须在 T_i 完成之后,满足:

$$t_j^{\text{start}} \geq t_i^{\text{start}} + t_i^{\text{dispose}} \quad \& e_{ij} = 1 \quad i, j \in [1, N] \quad (10)$$

考虑任务的执行需要协作的所有编组都到达任务发生区域后才开始,那么先到达平台需要等待,任务开始时间不小于分配的所有编组到达时间,即:

$$t_j^{\text{start}} \geq \max_{i \in \{k | \varphi_{km} = 1, k \in [1, N]\}} \left(t_i^{\text{start}} + t_i^{\text{dispose}} + x_{ijm} \frac{d_{ij}}{v_m} \right) \quad (11)$$

式中 d_{ij} 为 T_i 和 T_j 之间的平面二维空间距离。

1.4.1.4 编组单任务处理约束

任意时刻编组 AG_m 只能处理一个任务,满足:

$$\sum_{j=1}^N x_{ijm} \leq 1 \quad i, j \in [1, N] \quad (12)$$

1.4.1.5 整体任务完成时限约束

记整体任务完成时限为 t_{cons} ,全体任务的完成时间 $t_{\text{TF}}(T, G_T)$ 不能大于完成时限 t_{cons} ,即:

$$t_{\text{TF}}(T, G_T) \leq t_{\text{cons}} \quad (13)$$

1.4.1.6 任务的时间窗口约束

任务的开始时间必须介于某个时间窗口之内:

$$t_i^{\text{start}} - t_i^{\text{start}} \leq 0 \quad \& \quad t_i^{\text{finish}} - t_i^{\text{finish}} \leq 0 \quad i \in [1, N] \quad (14)$$

1.4.2 目标函数

综合考虑时效性和有效性 2 个方面要求,一是考虑整个任务集的任务执行质量,二是考虑整体任务的完成时间。以任务执行质量和任务完成时间比值为目标函数,记为任务执行效率 $E_T(T, G_T)$,则:

$$E_T(T, G_T) = t_{\text{TF}}(T, G_T)^{-1} \prod_{T_i \in T} q^r(i) \quad (15)$$

2 时限约束任务分配问题的求解

2.1 算法思想及流程

本文的问题模型是混二元线性规划问题,模型包含编组任务分配 φ_m 和编组在任务间转移 x_{ijm} 这 2 个变量且具有复杂的关联关系。考虑到资源满足度阈值 ϕ 和整体任务完成时间呈现负相关,设计基于 CNDLS 的 TCTA 问题求解算法。见图 1。

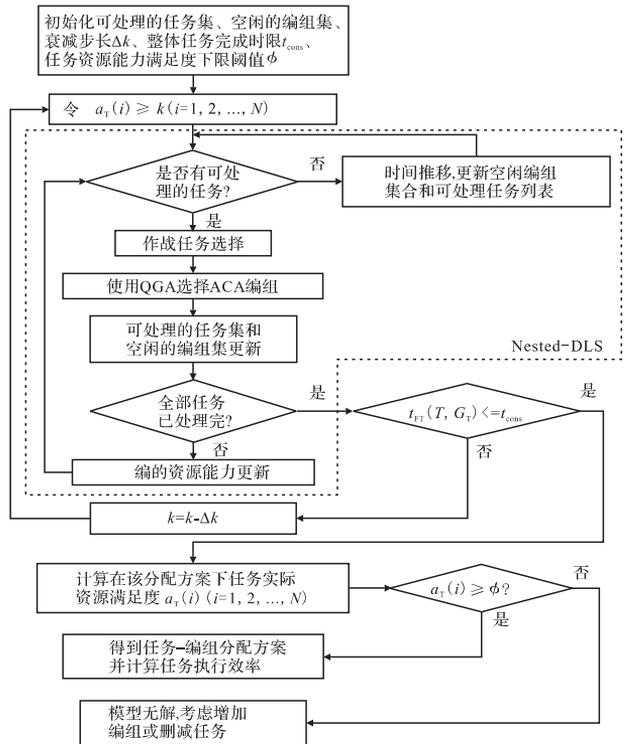


图 1 基于 CNDLS 的任务分配方法流程

Fig. 1 Task allocation method based on CNDLS

初始条件中设置 $k=1$,采用 CNDLS 算法的基本考虑是在资源满足度 k 的基础上,利用 DLS 和 QGA 高效地寻找全局最优解的能力,得到满足规定完成时限 t_{cons} 内的最佳任务分配方案。如果在当前的资源满足条件下无法得到满足时限 t_{cons} 的任务分配方案,则通过循环迭代逐步降低资源满足条件 $k - \Delta k \geq \phi$,直到得到同时满足资源满足度约束和整体任务完成时限约束的最优任务分配方案。若模型无可行解,说明需要增加新的编组或删除部分任务。

2.2 作战任务选择

当任务 T_i 的所有直接前导任务都已处理完成时,该任务便进入可处理的任务集 T_{ready} 中。在 T_{ready} 中依据任务的优先级系数 p_T 选择任务进行编组资源分配。任务优先级系数 p_T 越大,表示该任务的优先级越高,该任务越需要优先被选择分配编

组资源^[7]。任务优先级的最直接影响因素为任务预计处理时间和后续任务影响,结合任务的时间窗口属性,定义任务优先级系数公式如下:

$$p^T(i) =$$

$$\text{sgn}(T_i) \left\{ t_i^{\text{dispose}} + \max_{j \in \text{OUT}(i)} p^T(j) + \frac{\sum_{j \in \text{OUT}(i)} p^T(j)}{\max_{j \in \text{OUT}(i)} p^T(j)} \right\} \quad (16)$$

$$\text{sgn}(T_i) = \begin{cases} 1, & \text{当前时刻 } T_i \text{ 进入 } [t_i^{\text{sb}}, t_i^{\text{fb}}] \\ 0, & \text{当前时刻 } T_i \text{ 未进入 } [t_i^{\text{sb}}, t_i^{\text{fb}}] \end{cases} \quad (17)$$

式中 $\text{OUT}(i)$ 是任务序列图中 T_i 的直接后续任务集, t_i^{dispose} 是任务 T_i 的预计处理时间。

2.3 基于 QGA 的编组资源选择

设选定的任务为 $T_c (C \in \{1, 2, \dots, N\})$, 从当前空闲的编组集 AG_{free} 中选择最佳编组分配给 T_c , 该问题为多维 0~1 背包问题。由于 QGA 具有种群规模小、收敛速度快和全局搜索能力强等特点^[8], 在解决 TSP、0/1 背包等组合优化问题时比传统进化算法表现出更优良的性能^[9]。因此, 本文在 DLS 中嵌套 QGA 为选定任务分配编组。

2.3.1 染色体编码方式

某个选定的任务 T_c , 有 N_{free} 个编组处于空闲状态, 则一个染色体包含 N_{free} 位量子位的编码为:

$$s = \begin{bmatrix} \alpha & \alpha & \cdots & \alpha_{N_{\text{free}}} \\ \beta & \beta & \cdots & \beta_{N_{\text{free}}} \end{bmatrix} \quad (18)$$

式中: α_k 和 β_k 分别是第 k 位量子位状态 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的概率幅, $k = [1, 2, \dots, N]$; N_{free} 为默认编组标号, 采用量子位编码, 染色体种群表示为 $S(g) = \{s_1^{(g)}, s_2^{(g)}, \dots, s_{N_{\text{size}}}^{(g)}\}$ 。

$$s_p^{(g)} = \begin{bmatrix} \alpha_{p1}^{(g)} & \alpha_{p2}^{(g)} & \cdots & \alpha_{pN_{\text{free}}}^{(g)} \\ \beta_{p1}^{(g)} & \beta_{p2}^{(g)} & \cdots & \beta_{pN_{\text{free}}}^{(g)} \end{bmatrix} \quad (19)$$

式中: g 为进化代数; N_{size} 为种群规模, $s_p^{(g)}$ 为第 g 代种群的第 p 个染色体。

2.3.2 种群测量及旋转更新

对种群 $S(g)$ 中每个个体实施一次测量, 将得到一组状态 $P(g)$, 为一组二进制解, $P(g)$ 中的一个二进制解 $p_p^{(g)} (p = 1, 2, \dots, N_{\text{size}})$ 均由长度为 N_{free} 的二进制串组成。 $p_p^{(g)}$ 中第 k 位的取值通过第 k 位量子位的概率 $|\alpha_{pk}^{(g)}|^2 (k = 1, 2, \dots, N_{\text{free}})$ 确定。

QGA 采用量子旋转门更新策略完成种群的更新操作, 而旋转角度定义基于查表机制, 关键是表参数选取, 本文采用文献^[9]的量子门旋转机制。

2.3.3 适应度函数

对于测量得到的 $P(g)$ 中的一个二进制解 $p_p^{(g)}$ 代表着 AG_{free} 中编组的一种组合方式。记编组组合

为 X , 群体规模为 N_{size} , $X_n (n \in [1, N_{\text{size}}])$ 的相应编组数量为 N_x 。适应度函数应考虑由任务选择编组的时间优先权以及编组资源能力优先权构造。

2.3.3.1 时间优先权系数 C_T 计算

编组组合 X_n 开始执行任务的时间是 X_n 中最迟到达任务处理地点的编组到达时间:

$$t^{\text{start}}(X_n) = \max_{m \in X_n} \left(t_{x(m)}^{\text{start}} + t_{x(m)}^{\text{dispose}} + \frac{d_{x(m), C}}{v_m} \right) \quad (20)$$

式中 $x(m)$ 为 AG_m 最后处理的任務, 最优个体所对应的任务开始时间最早为 $t_{\text{min}}^{\text{start}} = \min_{n \in N_{\text{size}}} (t^{\text{start}}(X_n))$ 。

对该种群中的所有 X_n 的 $t^{\text{start}}(X_n)$ 进行归一化处理, 并将结果作为时间优先权系数 C_T :

$$C_T(X_n) = \frac{t^{\text{start}}(X_n) - t_{\text{min}}^{\text{start}}}{\sum_{n=1}^{N_{\text{size}}} (t^{\text{start}}(X_n) - t_{\text{min}}^{\text{start}})} \quad (21)$$

2.3.3.2 编组资源能力优先权系数 AG_R 计算

编组资源能力优先权系数是考察所选择的编组应具有较小资源能力冗余, 同时对其它候选列表中任务的资源满足程度较低。设 X_n 分配给任务 T_c 的资源能力冗余程度为 $R_D(X_n)$, 用下式定义:

$$R_D(X_n) = \sum_{l=1}^L \left(\sum_{m \in X_n} GR'_{ml} - R_{Cl} \right) \quad (22)$$

X_n 中的各个编组相对于 T_{ready} 中其它任务的平均资源满足度 $R_Q(X_n)$, 定义为:

$$R_Q(X_n) = \frac{1}{N_x} \sum_{m \in X_n} \sum_{j \in T_{\text{ready}} \setminus T_c} \sum_{l=1}^L \min(GR'_{ml}, R_{jl}) \quad (23)$$

种群中最优的个体所对应的 $R_D(X_n)$ 值和 $R_Q(X_n)$ 值最小, 记为:

$$Y_{\text{min}} = \min_{n \in N_{\text{size}}} (R_D(X_n) + R_Q(X_n)) \quad (24)$$

对种群中所有 X_n 的 $R_D(X_n) + R_Q(X_n)$ 归一化处理, 将结果作为资源能力优先权系数 AG_R :

$$AG_R(X_n) = \frac{R_D(X_n) + R_Q(X_n) - Y_{\text{min}}}{\sum_{n=1}^{N_{\text{size}}} (R_D(X_n) + R_Q(X_n) - Y_{\text{min}})} \quad (25)$$

综合式(21)和(25), 本文构造适应度函数为:

$$f(X_n) = (\omega C_T(X_n) + \omega AG_R(X_n))^{-1} \quad (26)$$

式中 $\omega + \omega = 1$, ω, ω 为权重值。

3 算例分析

通过其算例的建模与求解来检验 TCTA 优化模型的实用性和基于 CNDLS 求解算法的有效性。作战任务序列图见图 2, 所需要执行的作战任务数量 $N = 20$, 能够使用的编组数量为 $M = 24$ 。

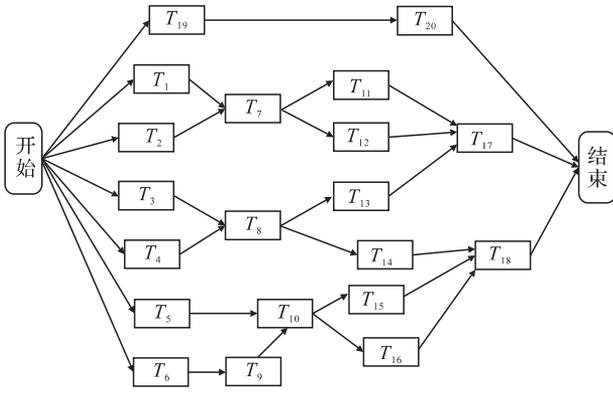


图2 任务之间的序列关系

Fig.2 The serial of tasks

任务的属性和编组资源的属性见表1~表2。

表1 作战任务的属性

Tab.1 The attribute of combat task

属性 任务	资源需求向量						处理 时间	位置	
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6		x	y
T_1	5	0	0	4	4	10	15	60	60
T_2	2	0	0	4	4	6	10	40	70
T_3	2	0	0	4	4	6	10	18	25
T_4	2	0	0	4	4	6	10	60	38
T_5	2	0	0	4	4	6	10	50	90
T_6	2	0	0	4	4	6	10	5	82
T_7	4	2	0	0	6	0	10	38	58
T_8	12	6	0	0	6	4	25	28	83
T_9	5	0	0	6	4	0	15	18	78
T_{10}	5	0	0	6	4	0	15	6	94
T_{11}	0	6	0	0	2	0	5	65	26
T_{12}	0	8	0	0	2	0	5	65	264
T_{13}	8	0	0	0	4	0	20	25	45
T_{14}	8	0	0	0	4	0	20	37	42
T_{15}	2	0	0	0	4	0	5	25	40
T_{16}	2	0	0	0	4	0	5	30	92
T_{17}	0	8	0	0	2	0	15	5	39
T_{18}	4	4	0	0	2	0	5	25	28
T_{19}	0	0	16	2	6	10	20	65	10
T_{20}	10	0	8	0	4	0	20	10	15

表2 编组资源的属性

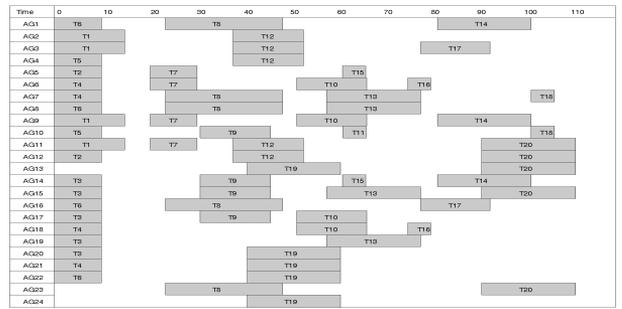
Tab.2 The attribute of group resource

属性 编组	编组拥有的资源能力						速度
	GR_1	GR_2	GR_3	GR_4	GR_5	GR_6	
$AG_{1\sim5}$	0	0	0	0	10	6	2.00
$AG_{6\sim9}$	8	0	0	2	0	0	4.00
$AG_{10\sim13}$	2	6	0	4	0	2	4.50
$AG_{14\sim15}$	6	2	0	0	0	0	2.50
$AG_{16\sim17}$	1	10	0	4	0	0	3.50
$AG_{18\sim19}$	0	0	0	0	8	0	2.75
$AG_{20\sim21}$	0	0	0	0	0	2	3.00
AG_{22}	0	4	6	0	0	2	3.00
$AG_{23\sim24}$	0	5	10	0	0	0	3.25

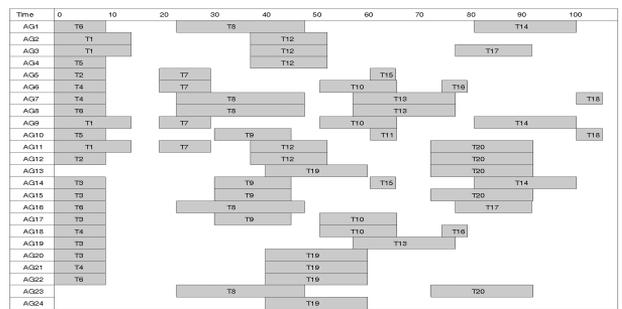
在初始参数的基础上,假定任务 T_1 到 T_6 必须

在时段 $[0,18]$ 内展开,任务 T_{10} 必须在时段 $[50,55]$ 之内开始。假设各种资源能力的损耗系数均为 $\omega = 0.1, l=1,2,\dots,6$,资源满足度阈值 $\phi=0.78$,衰减步长 $\Delta k=0.02$,整体任务完成时限约束 t_{cons} 分别为120、110、100,利用CNDLS算法对以上算例进行求解,QGA的参数设置为 $N_{size}=10, g_{max}=30, a=0.5$ 。

图3(a)和3(b)分别为 $t_{cons}=120$ 和 $t_{cons}=110$ 时的任务分配方案,而当 $t_{cons}=100$ 时,模型无解,需要增加新的编组或考虑放弃部分任务。当 $t_{cons}=120$,整体任务完成时间 $t_{TF}=111.5136$,每个任务资源满足度均为1,任务执行效率 $E_T=0.0090$;当 $t_{cons}=110$,整体任务完成时间 $t_{TF}=107.0491$,任务 T_1 到任务 T_{20} 的资源满足度为 $[0.94, 1, 1, 0.92, 0.92, 0.96, 1, 1, 1, 0.86, 0.90, 0.96, 0.88, 0.82, 0.90, 0.86, 0.82, 0.80, 0.90, 0.84]$,任务执行效率 $E_T=0.0078$;在形成的分配方案中任务 T_1 到任务 T_{20} 均在限定时限 $[0,18]$ 内,任务 T_{10} 则在时限 $[51.9143, 66.5143]$ 内,满足个体任务时窗约束要求。



(a) $t_{cons}=120$ 时得到的任务分配方案



(b) $t_{cons}=110$ 时得到的任务分配方案

图3 任务分配方案的甘特图

Fig.3 The gunter figure of task allocation result

4 结语

本文针对任务完成时限下的多编组任务分配问题,建立了包含完成时限约束和任务时间窗口约束的多编组任务分配模型。结合DLS和QGA设计了CNDLS任务分配算法,利用DLS-QOA高效的

全局寻优能力,通过多次迭代得到一定资源满足度下和时限 t_{cons} 内的最佳任务分配方案。通过对算例的仿真计算,验证所建模型和所提算法能够用于具有时序逻辑关系的任务分配之中并有级术解,得到一定完成时限下考虑时间窗口并满足任务时序关系的全局最优任务分配方案。

参考文献(References):

- [1] 万路军,姚佩阳,孙鹏,等. 有人-无人作战智能体任务联盟形成策略与方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2013, 14(3):54-58.
WAN Lujun, YAO Peiyang, SUN Peng, et al. Strategy of manned-unmanned combat agents task coalition formation [J]. Journal of air force engineering university :natural science edition, 2013, 14(3):54-58. (in Chinese)
- [2] Yueyue Deng. Task allocation and path planning for acoustic networks of AUVs[D]. Boca Raton: Florida atlantic university, 2010.
- [3] Schouwenaars T, Valenti M, Feron E, et al. Linear programming and language processing for human/unmanned aerial vehicle team missions [J]. Journal of guidance, control, and dynamics, 2006, 29(2): 303-313.
- [4] Mandal S, Han X, Pattipati K R, et al. Agent-based distributed framework for collaborative planning [C]//Proceedings of IEEE international conference on aerospace conference, Big Sky: IEEE PRESS, 2010.
- [7] Levchuk G M, Levchuk Y N, Luo J, et al. A library of optimization algorithms for organizational design [C]//Proceedings of international command and control research and technology symposium, Monterey: IEEE press, 2000.
- [5] 陈行军,齐欢,阳东升,等. 含时间窗联合作战计划问题的建模与求解[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(9):1979-1985.
CHEN Xingjun, QI Huan, YANG Dongsheng, et al. Modeling and solution of joint operational plans with

time windows [J]. Systems engineering theory & practice, 2012, 32(9):1979-1985. (in Chinese)

- [6] 张杰勇,姚佩阳,李凡. 完成时间限制下的任务平台关系设计模型及算法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(8):1621-1629.
ZHANG Jieyong, YAO Peiyang, LI Fan. Task-platform relation design model and its algorithm under completion time constraint [J]. Systems engineering and electronics, 2012, 34(8):1621-1629. (in Chinese)
- [8] Narayanan A, Moore M. Quantum inspired genetic algorithm [C]//Proceedings of the IEEE international conference on evolutionary computation. Nagoya, Japan:IEEE press, 1996.
- [9] 刑焕来,潘炜,邹喜华. 一种解决组合优化问题的改进型量子遗传算法[J]. 电子学报, 2007, 35(10): 1999-2002.
XING Huanlai, PAN Wei, ZOU Xihua. A novel improved quantum genetic algorithm for combinatorial optimization problems [J]. Acta electronica sinica, 2007, 35(10): 1999-2002. (in Chinese)

本刊相关链接文献:

- [1]万路军,姚佩阳,孙鹏,邓长来,税冬东. 有人-无人作战智能体任务联盟形成策略方法[J].空军工程大学学报:自然科学版,2013,14(3):10-14.
- [2]王幸运,田野,强晓明,钱俊. 基于协同效能的反导作战任务分配模型[J].空军工程大学学报:自然科学版, 2013,14(4):27-31.
- [3]王远振,赵坚,聂成. 任务优先级调度策略性能分析[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2003,4(3):31-35.
- [4]刘颖,余侃民,江胜荣. 支持资源协同分配的网络任务调度研究[J].空军工程大学学报:自然科学版,2006,7(1): 80-83.
- [5]田桐良,刘作良,王广云,等. 部分特征值未知的空中目标威胁程度排序方法[J].空军工程大学学报:自然科学版,2004,5(2):55-58.

(编辑:徐敏)