

基于云遗传算法的不确定性环境下 平台资源调度适应性优化方法

廖梦琛¹, 孙 鹏¹, 张杰勇¹, 杜华桦²

(1. 空军工程大学信息与导航学院, 西安, 710077; 2. 空军通信网络技术管理中心, 北京, 100843)

摘要 针对战场环境中不确定因素对平台资源调度方案的影响, 提出了一种面向不确定事件的平台资源调度适应性优化方法。考虑平台损耗和任务处理时间 2 个方面的不确定性, 建立以最大任务执行效率为目标函数的平台资源调度的适应性优化问题的数学模型, 根据不确定事件对平台资源能力或任务属性的影响来判断是否触发调度方案的适应性优化, 并基于云遗传算法设计了平台资源调度适应性优化问题数学模型的求解方法, 最后通过算例进行了验证。仿真结果表明, 使用云遗传算法对平台资源调度方案进行适应性优化调整, 能得到更加优化的平台任务匹配关系, 并从整体上缩短使命完成时间。

关键词 平台资源调度; 不确定性; 适应性优化; 云遗传算法

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2017.04.015

中图分类号 TP391.9 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2017)04-0086-07

A Method for Adaptive Optimization of Platform Resource Scheduling in Uncertain Battlefield Environment Based on Cloud Genetic Algorithm

LIAO Mengchen¹, SUN Peng¹, ZHANG Jieyong¹, DU Huahua²

(1. Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China;
2. Air Force Communication Network Technology Administration Center, Beijing 100843, China)

Abstract: Aimed at the problem that the uncertain factors exert an influence on platform resource scheduling scheme in the battlefield environment, a platform resource scheduling adaptive optimization method for uncertain events is proposed. In consideration of the uncertainties of both platform loss and task processing time, a mathematical model of adaptive optimization problem of platform resource scheduling with maximum task execution efficiency as objective function is established. According to the uncertainty of the event on the platform resource capacity or task attributes to determine whether to trigger the adaptive optimization of scheduling, a method of solving the problem based on cloud genetic algorithm is designed. The simulation results show that a better relation between platform and task is obtained by using cloud genetic algorithm and the mission completion time is shorten.

Key words: platform resource scheduling; uncertainty; adaptive optimization; cloud genetic algorithm

收稿日期: 2016-09-27

基金项目: 国家自然科学基金(61573017)

作者简介: 廖梦琛(1993—), 男, 云南昆明人, 硕士生, 主要从事指挥控制组织设计与任务计划研究。E-mail: 710941070@qq.com

引用格式: 廖梦琛, 孙鹏, 张杰勇, 等. 基于云遗传算法的不确定性环境下平台资源调度适应性优化方法 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2017, 18(4): 86-92. LIAO Mengchen, SUN Peng, ZHANG Jieyong, et al. A Method for Adaptive Optimization of Platform Resource Scheduling in Uncertain Battlefield Environment Based on Cloud Genetic Algorithm [J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2017, 18(4): 86-92.

军事平台资源调度问题是在资源约束条件下合理地将平台资源分配给一系列待执行任务的过程^[1-4]。随着使命环境越发趋向于复杂多变,战时可能产生不确定因素往往影响平台与任务的分配关系,因此需要根据战场环境的不确定因素对平台资源的调度方案进行适应性优化,这就是不确定性环境下平台资源调度的适应性优化问题^[5-6]。

实际作战过程中,使命环境是产生不确定因素的主要原因,它会导致平台资源能力或者任务资源需求的变化,使初始的平台资源调度方案偏离作战实际需求,进而影响任务的执行。文献[7]提出任务执行环境中所存在的动态不确定因素可以用数学方法进行描述,考虑不确定因素使得该问题的求解更加贴近实际战场的需求。文献[8~9]将不确定性描述为使命环境中平台资源参数、任务参数的变化,并研究了面向任务的动态环境下资源调度适应性优化问题。文献[10]提出根据不确定使命环境产生的影响优化平台资源调度方案,从而提升作战任务的执行效果。文献[11]提出了基于组织结构分层和基于滚动时域的动态适应性优化策略。另外,还有很多该问题不同的适应性优化方法^[12-17]。从现有研究来看,平台资源调度的适应性优化方法能结合该问题不同的优化目标和约束条件,从不同的角度来设计该问题的数学模型,并有针对性地设计相应的求解方法。

1 问题分析及建模

1.1 问题及背景概念

在平台资源调度过程中,首先对任务及平台做出相应的描述,并给出任务与平台属性的定义。

定义 1 任务(T):由作战使命分解得到且不能再分解的最小基本单元,需要特定的物理资源支持才能完成的活动。对任务进行定义就是建立相应的任务集合 $T = \{T_i\} (i=1, 2, \dots, N)$, 每个任务 T_i 有如下属性:任务开始时间 BT_i ;任务处理时间 LT_i ;任务的坐标位置 $TP_i = (x_i, y_i)$;任务资源需求向量 $TR_i = \{TR_{il}\} (l=1, 2, \dots, L)$, TR_{il} 表示成功处理任务 T_i 所需要的 l 类型资源的数量。

定义 2 平台(P):平台是组织资源能力的体现,是处理作战任务所需要的物理资源。对平台进行定义就是建立平台的数据属性 $P = \{P_k\} (k=1, 2, \dots, K)$, 每个平台 P_k 有如下属性:平台的初始位置 $PP_k = (x_k, y_k)$;平台的最大移动速度 v_k ;平台资源能力向量 $PR_k = \{PR_{kl}\} (l=1, 2, \dots, L)$, PR_{kl} 表示平台 k 所具备的 l 类型资源的数量。

1.2 变量的定义

在平台资源调度过程中,对相关变量做出如下描述:

定义 3 平台与任务的分配变量 $\omega_{i,k}$:若平台 P_k 分配给任务 T_i ,则 $\omega_{i,k}=1$,否则 $\omega_{i,k}=0$ 。

定义 4 任务间的时序关系变量 a_{ij} :若任务 T_j 与 T_i 没有时序关系,则 $a_{ij}=1$,否则 $a_{ij}=0$ 。

定义 5 平台在任务间的转移变量 S_{ijk} :如果平台 P_k 在完成任务 T_i 后分配给任务 T_j ,则 $S_{ijk}=1$,否则 $S_{ijk}=0$ 。

定义 6 平台当前地理位置 $P_k^i = (x_k^{(i)}, y_k^{(i)})$:表示平台 k 处理完当前任务 i 后所处的地理位置。其位置将会根据所处理的任务进行移动并且不断变化。

定义 7 使命完成时间 $TFT(T, G_R)$:
 $TFT(T, G_R) = \max(BT_i + LT_i) - \min BT_j$ (1)

该式表示在分配关系 G_R 情况下使命的总完成时间等于最后 1 个任务 T_i 执行的结束时间 $BT_i + LT_i$ 与第 1 个任务 T_j 执行的开始时间 BT_j 的时间差。

定义 8 任务资源满足度 $TA(i, l)$:第 l 种资源对任务 T_i 的满足度记为 $TA(i, l)$,表示任务 T_i 所获取的实际资源能力 \tilde{R}_{il} 与资源需求 R_{il} 的比值,即:

$$TA(i, l) = \begin{cases} 1, & \tilde{R}_{il} \geq R_{il} \\ \tilde{R}_{il}/R_{il}, & \tilde{R}_{il} < R_{il} \end{cases} \quad (2)$$

式中: \tilde{R}_{il} 表示第 l 种类型资源能力的实际获取的数量。任务 T_i 所需的不同种类资源的满足度平均值表示为:

$$TA_i = \sum_l TA(i, l) / |A(i)| \quad (3)$$

式中: $|A(i)|$ 为任务 T_i 所需的种类资源总数量。

定义 9 任务执行质量 TQ_i :任务执行质量 TQ_i 度量了任务完成的程度,与任务资源满足度 TA_i 有密切联系。任务执行质量 TQ_i 与任务资源满足度 TA_i 之间的关系用函数表示为:

$$TQ_i = \frac{1}{1 + \exp[8(1 - 2TA_i)]} \quad (4)$$

任务集 T 的执行质量 TQ 是 T 中所有任务的执行质量的乘积,表示为:

$$TQ = \prod_{i=1}^N TQ_i \quad (5)$$

定义 10 任务执行效率 $TE(T, G_R)$:将任务执行质量 TQ 与使命完成时间 $TFT(T, G_R)$ 的比值即单位时间内的任务执行质量,记为任务执行效率 $TE(T, G_R)$,该参数体现了任务完成的时效性和有效性。表示为:

$$TE(T, G_R) = \prod_{T_i \in T} TQ_i \cdot [TFT(T, G_R)]^{-1} \quad (6)$$

1.3 使命环境中的不确定性的表示

受到复杂的使命环境影响,作战过程中可能存在的诸多不确定因素会导致平台资源或作战任务的属性发生变化。本文主要考虑平台损耗和任务处理时间两方面不确定性,并定义为不确定事件。

定义 11 平台损耗事件:平台损耗事件是指作战过程中受到战场敌我不确定因素所造成的平台资源能力降低的事件,记为 E_{PU}^P , 损耗事件的属性由三元向量 (e_j, ER_l^j, AP_{PU}) 表示,其中: e_j 表示平台损耗事件所影响的平台的编号; ER_l^j 表示表示该类型损耗事件导致平台 P_j 损失的 l 类型资源的数量; AP_{PU} 表示该类型损耗事件的发生概率。

定义 12 任务处理时间变化事件:任务处理时间变化事件是指不确定性因素导致任务实际处理时间和预期处理时间发生偏差的事件,记为 E_{TU}^T , 任务处理时间变化事件的属性由三元向量 $(e_i, \Delta LT_{e_i}^{TU}, AP_{TU})$ 构成: e_i 表示受到任务处理时间变化事件影响的任务的编号; $\Delta LT_{e_i}^{TU}$ 表示任务 T_{e_i} 处理时间变化量; AP_{TU} 表示该任务处理时间变化事件的发生概率。

1.4 约束条件分析

1.4.1 使命完成时间约束

受到战场作战实际的要求,使命的完成时间是有时限的。即完成时间 TFT 不大于某一时限值 TC , 表示为:

$$TFT \leq TC \quad (7)$$

1.4.2 平台分配约束

每个任务 T_i 都将被分配平台确保执行。平台 P_k 在分配给任务 T_i 之前一定是执行了某一任务(包括虚拟起始任务 T_0)之后该平台也将被分配执行下一任务,即:

$$\sum_{j=0}^N S_{jik} - \omega_{i,k} = 0 \quad (8) \quad \sum_{j=0}^N S_{ijk} - \omega_{i,k} = 0 \quad (9)$$

所有平台都从起始任务开始执行使命,在终止任务结束完成使命,即:

$$\sum_{i=0}^N S_{i0k} = \sum_{j=0}^N S_{0jk} = 1 \quad (10)$$

1.4.3 任务开始时间约束

由于部分任务之间存在时序约束关系,某些任务必须在其前序任务完成之后才能执行,并且要考虑平台在不同任务之间转移所产生的时间,即:

$$BT_j \geq BT_i + LT_i + S_{ijk} d_{ij} / v_k \quad (11)$$

式中: d_{ij} 表示任务 T_i 与 T_j 之间的空间距离,即:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (12)$$

当任务 T_i 和 T_j 没有时序约束关系时, $a_{ij} = 1$, 任务开始时间必须满足:

$$BT_j \geq BT_i + LT_i - TC' \quad (13)$$

式中: TC' 表示所有任务完成时间上界,满足 $TC' \geq TFT$ 。综合式(11)和式(13),任务开始时间约束表示为:

$$BT_j \geq BT_i + LT_i + S_{ijk} \left(\frac{d_{ij}}{v_k} + a_{ij} TC' \right) - a_{ij} TC' \quad (14)$$

1.5 问题的模型建立

通过对问题的描述及约束条件分析,可以建立如下数学模型:

$$\max TE(T(t), G'_R)$$

$$\begin{cases} TFT \leq TC \\ \sum_{j=0}^N S_{jik} - \omega_{i,k} = 0 (i=1,2,\dots,N; k=1,2,\dots,K) \\ \sum_{j=0}^N S_{ijk} - \omega_{i,k} = 0 (i=1,2,\dots,N; k=1,2,\dots,K) \\ \sum_{i=0}^N S_{i0k} = \sum_{j=0}^N S_{0jk} = 1 (k=1,2,\dots,K) \\ BT_j \geq BT_i + LT_i + S_{ijk} \left(\frac{d_{ij}}{v_k} + a_{ij} TC' \right) - a_{ij} TC' \\ (i,j=1,2,\dots,N, k=1,2,\dots,K) \\ \omega_{i,k} \in \{0,1\} \end{cases} \quad (15)$$

2 问题求解

2.1 算法流程

对于平台资源调度适应性优化问题,我们提出了基于云遗传算法的适应性优化方法对平台资源调度方案进行优化。按照初始平台调度方案执行作战任务,当 t 时刻不确定事件发生时,触发平台资源调度适应性优化,对后续受到不确定事件影响的任务的平台资源调度方案进行调整,使调整后的方案达到整体作战任务执行效率最大。所有任务处理完后输出优化后的平台资源调度方案,具体流程见图 1。

2.2 云遗传算法

该适应性优化问题属于平台调度方案的动态调整问题,在对已有的方案进行适应性优化的过程中,选用云模型改进后的云遗传算法^[18-19](Cloud Genetic Algorithm, CGA)对问题进行求解。该算法具有良好的随机性和稳定趋向性,同时具有收敛速度快、种群规模小、搜索能力强等优势,因此本文选择云遗传算法实现平台资源对任务的分配和调整。

在任务选择阶段,本文采用加权长度算法(WL)确定任务的优先权系数:

$$P_i = LT_i + \max_{j \in out(i)} P_j + \frac{\sum_{j \in out(i)} P_j}{\max_{j \in out(i)} P_j} \quad (16)$$

式(16)中, LT_i 表示 T_i 的执行时间, $out(i)$ 表

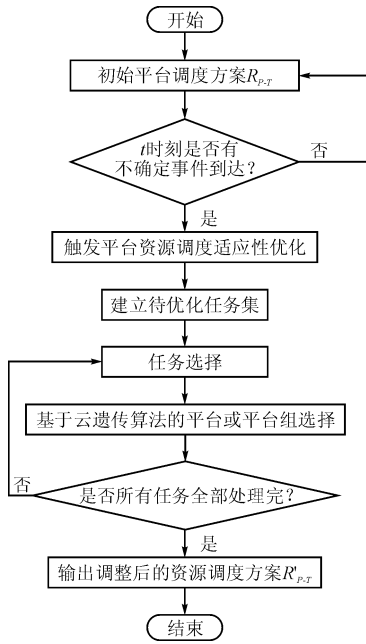


图 1 平台资源调度适应性优化流程图

Fig. 1 Flowchart of adaptive optimization

示 T_i 的后续任务。通过该方法确定的任务优先系数能保证优先级越高的任务优先执行。

2.2.1 编码方案

对于当前执行的任务 T_i , 可用的平台从空闲平台集 P_{free} 中选取。本文采用双串二进制编码的方式来表示平台对该任务的分配情况。上行串表示 P_{free} 中平台的标号, 下行串用 0-1 表示平台的选用状态。双串编码结构见表 1。

表 1 双串编码结构

Tab. 1 Encoding string structure

序号	S(1)	S(2)	...	S(free)
0-1 值	$G_{S(1)}$	$G_{S(2)}$...	$G_{S(free)}$

2.2.2 适应度函数构造

解空间内的每一个候选解对应一个不同的平台资源调度方案, 候选解的适应度值是分配结果中平台的组合后对目标函数值的体现。因此在适应度函数构造的过程中需要考虑任务选择平台的时间优先系数和平台资源能力优先系数两方面。

1) 时间优先系数 $CT(P_{use}^{(i)})$ 。任务 T_i 的开始时间为最后一个到达任务执行地点的平台的到达时间。对于已处理过任务的平台, 平台移动到当前任务地点需要花费一定时间。对于未处理过任务的平台, 假设其在任务开始时已经到达当前任务位置, 有:

$$St(P_{use}^{(i)}) = (BT_j^{(k)} + LT_j^{(k)} + \frac{d_{ij}}{v_k}) \quad (17)$$

式中: $BT_j^{(k)}$ 表示平台 k 处理的最后一个任务的开

始时间; $LT_j^{(k)}$ 表示处理该任务的持续时间。

种群中最优的个体为任务开始时间最小的个体, 即: $St_{min} = \min(P_{use}^{(i)})$ 。归一化处理后时间优先系数为:

$$CT(P_{use}^{(i)}) = \frac{St(P_{use}^{(i)}) - St_{min}}{\sum_{n=1}^p (St(P_{use}^{(n)}) - St_{min})} \quad (18)$$

2) 平台资源能力优先系数。平台资源对任务需求的满足程度是一项重要的指标。在资源冗余程度尽量小、满足度尽量高的前提下减少当前任务选用的平台可以使后续任务能选择的平台资源更加充分。因此平台组 $P_{use}^{(i)}$ 对任务 T_i 的资源冗余度用 R_{redund} 表示为:

$$R_{redund}(P_{use}^{(i)}) = \sum_{l=1}^L (\sum_{m \in P_{use}^{(i)}} PR_{ml} - R_{il}) \quad (19)$$

同时计算所选用的平台组 $P_{use}^{(i)}$ 对可处理任务集中其他任务的平均资源满足度, 用 R_{other} 表示为:

$$R_{other}(P_{use}^{(i)}) = \frac{1}{num} \sum_{m \in P_{use}^{(i)}} \sum_{j \in T_{ready}/T_i} \sum_{l=1}^L (PR_{ml}, R_{jl}) \quad (20)$$

综合式(19)、(20), 可知种群中最优的个体即对应 R_{redund} 和 R_{other} 值最小的个体, 表示为:

$$SR_{min} = \min_{i \in [1, p]} (R_{redund}(P_{use}^{(i)}) + R_{other}(P_{use}^{(i)})) \quad (21)$$

对种群中的所有 $R_{redund}(P_{use}^{(i)}) + R_{other}(P_{use}^{(i)})$ 做归一化处理, 即可得到平台资源优先系数 $CP(P_{use}^{(i)})$:

$$CP(P_{use}^{(i)}) = \frac{R_{redund}(P_{use}^{(i)}) + R_{other}(P_{use}^{(i)}) - SR_{min}}{\sum_{k=1}^p (R_{redund}(P_{use}^{(k)}) + R_{other}(P_{use}^{(k)}) - SR_{min})} \quad (22)$$

综合考虑时间优先系数和平台资源优先系数, 可以得到 CGA 的适应度函数:

$$f(P_{use}^{(i)}) = (\omega_1 \cdot CT(P_{use}^{(i)}) + \omega_2 \cdot CP(P_{use}^{(i)}))^{-1} \quad (23)$$

式中: $\omega_1 + \omega_2 = 1$, 分别代表决策者对时间优先权和平台资源能力优先权的偏好。适应度函数值越小, 表示分配给任务 T_i 的平台组越适合完成任务 T_i 。

2.2.3 基于云模型的交叉、变异算子

利用正态云模型对遗传算法中的交叉、变异算子进行改进, 能实现交叉与变异概率的动态自适应调整, 充分体现稳定趋向性和随机性两方面的特点。设 P_c 为遗传算法中的交叉概率, P_m 为变异概率。算法初期设 P_c, P_m 值较大, 保证种群中个体的多样性; 在算法的后期, 设置 P_c, P_m 值较小, 让部分个体参与到变异当中, 在保留优秀个体的情况下达到全局搜索能力最优的效果。

利用 X 条件云发生器^[20-21]对算法中的交叉、变异概率做出如下自适应调整:

1) 自适应交叉概率 P_c :

$$\begin{aligned} Ex &= \bar{f} \\ En &= (f_{\max} - \bar{f})/C_1 \\ He &= En/C_2 \\ En' &= \text{randn}(En, He) \\ P_c &= \begin{cases} k_1 e^{-\frac{(f' - Ex)^2}{2(En')^2}}, & f' \geq \bar{f} \\ k_3, & f' < \bar{f} \end{cases} \end{aligned} \quad (24)$$

2) 自适应变异概率 P_m :

$$\begin{aligned} Ex &= f \\ En &= (f_{\max} - f)/C_3 \\ He &= En/C_4 \\ En' &= \text{randn}(En, He) \\ P_m &= \begin{cases} k_2 e^{-\frac{(f - Ex)^2}{2(En')^2}}, & f' \geq \bar{f} \\ k_4, & f' < \bar{f} \end{cases} \\ C_1 \sim C_4, k_1 \sim k_4 &\in [0, 1] \end{aligned} \quad (25)$$

式中: \bar{f} 为种群的当前平均适应度; f_{\max} 为种群中优秀个体的最大适应度值; f' 为交叉操作中较大的适应度值; f 为种群中变异个体的适应度值。 $C_1 \sim C_4$ 为控制系数, k_1, k_3 为交叉参数, k_2, k_4 为变异参数, 且 $k_1 \sim k_4 \in [0, 1]$ 。

3 算例分析

本文将以一次联合作战的战场设定作为使命背景进行仿真分析^[22]。该算例描述了一次联合作战的登陆战役, 案例中任务总数 $N=18$, 平台总数 $M=20$, 平台与任务的详细属性见文献^[22]。在初始的平台资源调度方案生成之后考虑不确定事件对任务和平台产生的影响, 分别使用云遗传算法(CGA)和文献^[10]的改进模拟退火算法(ISA)实现对分配方案的适应性优化, 并进行比较和分析。

3.1 实验参数设置

3.1.1 不确定事件参数设置

1) 平台损耗事件。假设平台损耗事件的发生概率 AP_{PU} 服从泊松分布, 即 $AP_{PU} \sim \pi(\lambda_j)$, 其中 λ_j 表示该损耗事件发生概率的均值。每个事件所影响的平台 e_j 和损失类型为 l 的资源在仿真过程中随机生成。

本次仿真试验中, 假设平台损耗事件有两个, 即 $E_{PU} = \{E_1^P, E_2^P\}$, 在 $[77, 78]$ 时间段内事件 E_1^P 发生, 造成平台 P_7 损失的 l_6 类型资源的数量 $ER_6^7 = 1.5$, E_1^P 的发生概率的均值 $\lambda_1 = 0.03$; 在 $[90, 91]$ 时间段内事件 E_2^P 发生, 造成平台 P_{16} 损失的 l_8 类型资源的数量 $ER_8^{16} = 1$, E_2^P 的发生概率的均值 $\lambda_2 = 0.02$ 。

2) 任务处理时间变化事件。假设产生任务处理

时间变化事件的发生概率 AP_{TU} 服从泊松分布, 即 $AP_{TU} \sim \pi(\lambda_i)$, 处理时间变化量 $\Delta LT_{e_j}^{TU}$ 服从均匀分布, 即 $\Delta LT_{e_j}^{TU} \sim U(t_{\text{lower}}, t_{\text{upper}})$, 每个事件影响的平台 e_j 在仿真过程中随机生成。

本次实验中, 设置在 $[40, 41]$ 时间段内不确定事件 E_1^T 发生, 使任务 T_{12} 的处理时间增加了 2 个单位, 即 $\Delta LT_{12}^T = 2$ 。

3.1.2 算法参数设置

在 CGA 算法的参数设置中, 种群规模 $p=10$, 迭代次数 $N=100$, 初始交叉概率 $P_c=0.8$, 初始变异概率 $P_m=0.05$, $\alpha=\beta=0.5$ 。可取 $C_1=C_3=6p$, 随进化代数的逐渐增大 ($N=50$) 时, 算法的控制系数 $C_1=C_3=6p(N+1)$, $C_2=C_4=15-(N-p/2)^2$ 。算法中控制系数可以根据对收敛速度、种群大小等因素进行适当调整。ISA 算法的参数设置中, 初始温度 $Temp_0=100$, 每个循环温度下降 $\Delta T=1$, 降温的间隔 $n=10$ 。

3.2 实验结果分析

初始的平台资源调度方案见图 2。当不确定事件发生时, 分别使用 ISA、CGA 算法对待优化任务集中的任务进行平台资源的调整优化, 得到优化后的平台资源调度方案分别见图 3、图 4。

由不确定事件的参数设置可知, 不确定事件的发生 E_1^T 延长了任务 T_{12} 的处理时间, 导致与 T_{12} 使用相同平台或者与 T_{12} 存在时序关系的任务都将受到影响, 因此触发了优化。通过图 4 的优化结果可以看出, 一方面将部分资源需求度较小的任务用尽可能少的平台完成, 使后续任务能够顺序执行, 另一方面对于使用相同平台的任务尽量用其他可以满足任务需求的平台去完成, 以避免平台竞争产生的冲突。

不确定事件 E_1^P 发生后, 平台 P_7 所执行的任务分别为 T_1, T_2, T_{15} 对应的 l_6 类型的资源在 $[77, 78]$ 时间内减少, 导致 T_2, T_{15} 受到影响, 触发了方案的优化。由于任务 T_2 正在执行, 不能改变该任务当前使用的平台, 而任务 T_{15} 的平台调度方案受到的影响需要调整, 所使用的平台方案由原来的 P_5, P_7, P_{19} 调整为 P_3, P_5, P_{19} 。

不确定事件 E_2^P 发生后, 平台 P_{16} 所执行的任务分别为 T_1, T_2 , 对应的 l_8 类型的资源在 $[90, 91]$ 时间内减少, 由于在此时间段内该平台没有处理任务, 因此未触发优化, 不对平台资源进行调整。

不确定事件 E_1^T, E_1^P 的发生均触发了适应性优化, 需要对受影响的任务进行平台资源的调整, 使优化后的分配方案更加符合不确定环境的需求。使用 ISA 算法使使命完成时间从 135.15 s 缩短至 122.47 s, 平台资源调度方案如图 3 所示。而 CGA

算法则将使命完成时间缩短至 117.12 s,比使用 ISA 算法进行优化时间缩短了 5.35 s,优化后的平台资源调度方案如图 4 所示。实验结果通过使用 CGA 算法能有效的对方案进行适应性的优化调整,并且通过与 ISA 算法的优化结果相比较,CGA 算法能更加合理的调度平台资源进行适应性优化,缩短任务整体的完成时间。

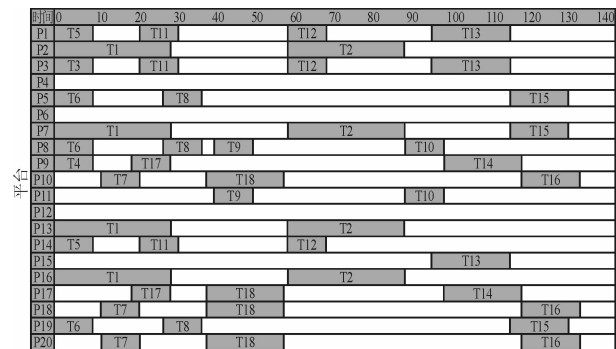


图 2 初始平台调度方案及执行时间($TFT=135.15\text{ s}$)

Fig. 2 Initial platform scheduling scheme and execution time ($TFT=135.15\text{ s}$)

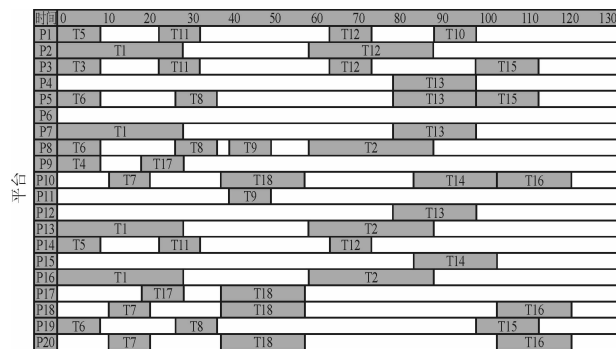


图 3 改进模拟退火算法优化后的任务平台调度方案及执行时间($TFT=122.47\text{ s}$)

Fig. 3 Platform scheduling scheme and execution time based on improved simulated annealing algorithm optimization ($TFT=122.47\text{ s}$)

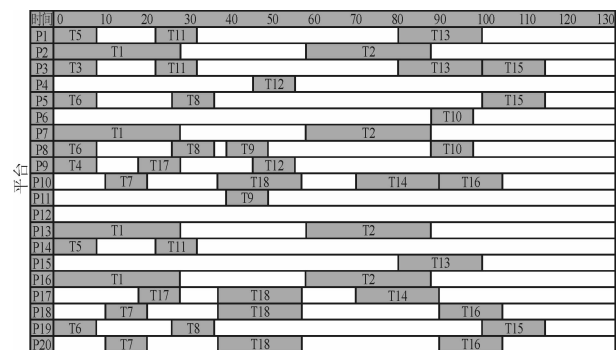


图 4 云遗传算法优化后的任务平台调度方案及执行时间($TFT=117.12\text{ s}$)

Fig. 4 Platform scheduling scheme and execution time based on cloud genetic algorithm optimization ($TFT=117.12\text{ s}$)

4 结语

本文研究了平台资源调度方案受到不确定事件影响后的适应性优化问题,考虑了平台损耗和任务处理时间变化两方面不确定性,通过 CGA 算法为待优化的任务平台关系进行调整,并将调整后的结果与 ISA 算法优化后的结果进行对比,仿真结果表明 CGA 算法能更好的缩短使命完成时间,证明了基于云遗传算法的适应性优化方法在处理这两方面的不确定性时具有适用性。由于使命环境中可能存在其他不确定类型因素,这些因素甚至可能对决策负载和执行能力产生影响,因此更加全面的考虑不确定因素对、组织资源能力、组织决策能力影响等问题有待进一步研究。

参考文献(References):

- [1] LEVCHUK G M, LEVCHUK Y N, LUO J, et al. Normative Design of Organizations-Part I: Mission Planning [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans, 2002, 32(3): 346-359.
- [2] 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 J Y, YAO P Y, LI F. Task-Platform Relation Design Model and Its Algorithm under Completion Time Constraint [J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(8): 1621-1629. (in Chinese)
- [3] 张杰勇,姚佩阳,周翔翔,等. 基于 DLS 和 GA 的作战任务-平台资源匹配方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(5): 947-954.
ZHANG J Y, YAO P Y, ZHOU X X, et al. Approach to Operation Task and Platform Resource Matching Based on DLS and GA [J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(5): 947-954. (in Chinese)
- [4] HAN X, BUI H, MANDAI S, et al. Optimization-Based Decision Support Software for a Team-in-the-loop Experiment: Asset Package Selection and Planning [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2013, 44(3): 237-251.
- [5] LEVCHUK G M, LEVCHUK Y N, MRIRINA C, et al. Normative Design of Organizations-Part III: Modeling Congruent Robust and Adaptive Organizations [J]. IEEE Transactions on SMC, 2004, 34(3): 337-350.
- [6] 修保新,张维明,刘忠,等. C2 组织结构的适应性优化方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(7): 1102-1108.
XIU B X, ZHANG W M, LIU Z, et al. Adaptive

- Design of C2 Organizational Structure [J]. Systems Engineering and Electronics, 2007, 29(7): 1102-1108. (in Chinese)
- [7] 牟亮, 张维明, 陈涛, 等. 不确定性下 C2 组织结构“任务-平台”关系设计模型及算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(12): 2576-2583.
MOU L, ZHANG W M, CHEN T, et al. Task-Platform Relation Design Model and Algorithm for C2 Organization Structure under Uncertainty [J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(12): 2576-2583. (in Chinese)
- [8] 杨春辉. 基于 CPN 的面向任务指挥控制组织建模、仿真及优化方法的研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学研究生院, 2008.
YANG C H. Research on Model, Simulation and Optimization for Task Oriented Command and Control Organization Based on Colored Petri Net [D]. Graduate School of National University of Defense Technology, 2008. (in Chinese)
- [9] 杨春辉, 刘翔, 陈红辉, 等. 动态使命环境下指挥控制资源动态规划组织的仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21(1): 9-14.
YANG C H, LIU X, CHEN H H, et al. Research on Simulation of Task-Oriented Agile Command and Control Organization in Dynamic Mission Environment [J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(1): 9-14. (in Chinese)
- [10] 牟亮. 不确定使命环境下 C2 组织结构动态适应性优化方法与研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学研究生院, 2011.
MOU L. Dynamic Adaptive Optimization Methodology of C2 Organization Structure under Uncertainty Mission Environment [D]. Changsha: Graduate School of National University of Defense Technology, 2010. (in Chinese)
- [11] 修保新, 牟亮, 张维明, 等. C2 组织结构适应性优化的模型与方法 [J]. 军事运筹与系统工程, 2012, 26(1): 35-41.
XIU B X, MOU L, ZHANG W M. The Model and Method of C2 Organizational Adaptive Optimization [J]. Military Optimizations Research and Systems Engineering, 2012, 26(1): 35-41. (in Chinese)
- [12] LEVCHUK G M, KLEINMAN D L, SUI R, et al. Congruence of Human Organizations and Missions: Theory Versus Data [C]// Proceedings of International Command and Control Research and Technology Symposium, Washington, DC, 2003.
- [13] LEVCHUK G M, LEVCHUK Y N, PATTIPATI K R, et al. Mapping Flows onto Networks to Optimize Organizational Processes [C]// Proceedings of the 7th Command and Control Research and Technology Symposium, Monterey, CA, 2002.
- [14] LEVCHUK G M, YU F, PATTIPATI K R, et al. From Hierarchies to Heterarchies: Application of Network Optimization to Design Organizational Structure [C]// Proceedings of the 7th Command and Control Research and Technology Symposium, Monterey, CA, 2002.
- [15] YANG C H, CHEN H H, LUO X S. Optimization for Designing the Robust Organization and Adaptive Organization [C]// Proceedings of the 13th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Shandong: IEEE Press, 2006: 2761-2765.
- [16] 姚佩阳, 张杰勇, 李巍, 等. 适应性指挥控制组织研究进展(II)——组织适应性调整方法和测试方法综述 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2012, 13(3): 54-59.
YAO P Y, ZHANG J Y, LI W, et al. The Development of Adaptive Organization for Command and Control (II)——The Summarize of Adjusting and Testing Methods for Organization Adaptability [J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2012, 13(3): 54-59. (in Chinese)
- [17] 孙昱, 姚佩阳, 李明辉, 等. 兵力组织指挥控制结构适应调整方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38(9): 2086-2092.
SUN Y, YAO P Y, LI M H, et al. Adaptive Adjusting Method of Command and Control Structure of Army Organization [J]. Systems Engineering and Electronics, 2016, 38(9): 2086-2092. (in Chinese)
- [18] 戴朝华, 朱云芳, 陈维荣, 等. 云遗传算法及应用 [J]. 电子学报, 2007, 35(7): 1419-1424.
DAI C H, ZHU Y F, CHEN W R, et al. Cloud Model Based Genetic Algorithm and Its Applications [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(7): 1419-1424. (in Chinese)
- [19] 程彦杰, 刘正堂, 邹永杰. 基于云遗传算法的防空导弹目标分配问题 [J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(3): 51-54.
CHENG Y J, LIU Z T, ZOU Y J. Target Assignment Problem of Air-defense Missile Based on Cloud Genetic Algorithm [J]. Command Control and Simulation, 2016, 38(3): 51-54. (in Chinese)
- [20] 李德毅, 刘常昱. 论正态云模型的普适性 [J]. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28-34.
LI D Y, LIU C Y. Study on Universality of the Normal Cloud Model [J]. Engineering Sciences, 2004, 6(8): 28-34. (in Chinese)
- [21] 崔晓静. 基于云模型的不确定性理论与实验研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2015.
CUI X J. Uncertainty Theory and Experiment Research Based on Cloud Model [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2015. (in Chinese)
- [22] YU F, TU F, PATTIPATI K R. A Novel Congruent Organizational Design Methodology Using Group Technology and a Nested Genetic Algorithm [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2006, 36(1): 5-18.