

11-20-2019

Multi-seats Collaborative Task Planning Based on Improved Particle Swarm Optimization

Cai Rui

1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; ;

Wang Wei

1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; ;

Jue Qu

1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; ;2. School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;;

Hu Bo

1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; ;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Multi-seats Collaborative Task Planning Based on Improved Particle Swarm Optimization

Abstract

Abstract: Aiming at the allocation conflict between task and operator of multi-seats collaborative task planning in command and control cabin, a multi-seats collaborative task planning method based on improved particle swarm optimization is proposed. This method describes and analyzes the multi-seats collaborative task and establishes a solution space model based on task sequence. *In solving the model, the particle swarm optimization (PSO) was improved by using multi-dimensional asynchronous processing and modifying inertia weight parameters so that the efficiency and local searching ability of the PSO were improved.* The example analysis shows that the model and the algorithm can effectively reduce the execution time of multi-seats collaborative task, which has certain reference value for the multi-seats collaborative task planning in the command and control cabin, and is of great significance for improving the efficiency in combat.

Keywords

task planning, priority ordering, asynchronous processing, particle swarm optimization

Recommended Citation

Cai Rui, Wang Wei, Qu Jue, Hu Bo. Multi-seats Collaborative Task Planning Based on Improved Particle Swarm Optimization[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(5): 1019-1025.

基于改进粒子群算法的多席位协同任务规划

蔡睿¹, 王巍¹, 瞿珏^{1,2}, 胡波¹

(1. 空军工程大学防空反导学院, 陕西 西安 710051; 2. 西北工业大学 航空学院, 陕西 西安 710072)

摘要: 针对指挥控制方舱多席位协同任务规划中的任务与号手分配冲突问题, 提出了一种基于改进粒子群算法的多席位协同任务规划方法。该方法对多席位协同任务进行描述和分析, 建立了基于任务排序的解空间模型。在求解模型时, 运用粒子群优化算法, 采用多维异步处理及修正惯性权重参数对粒子群优化算法进行了改进, 提高了算法的效率及局部搜索能力。实例分析表明: 该模型及提出的算法能有效的减少多席位协同任务的执行时间, 对指挥控制舱多席位协同任务规划具有一定的参考价值, 对提高作战效率具有重要意义。

关键词: 任务规划; 优先排序; 异步处理; 粒子群算法

中图分类号: E83

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 05-1019-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.18-0801

Multi-seats Collaborative Task Planning Based on Improved Particle Swarm Optimization

Cai Rui¹, Wang Wei¹, Qu Jue^{1,2}, Hu Bo¹

(1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;

2. School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Aiming at the allocation conflict between task and operator of multi-seats collaborative task planning in command and control cabin, a multi-seats collaborative task planning method based on improved particle swarm optimization is proposed. This method describes and analyzes the multi-seats collaborative task and establishes a solution space model based on task sequence. In solving the model, the particle swarm optimization (PSO) was improved by using multi-dimensional asynchronous processing and modifying inertia weight parameters so that the efficiency and local searching ability of the PSO were improved. The example analysis shows that the model and the algorithm can effectively reduce the execution time of multi-seats collaborative task, which has certain reference value for the multi-seats collaborative task planning in the command and control cabin, and is of great significance for improving the efficiency in combat.

Keywords: task planning; priority ordering; asynchronous processing; particle swarm optimization

引言

指挥控制舱作为操作人员与武器系统进行人

机交互的核心, 发挥着监控系统运行状态、任务通信和解决问题的重要作用。指挥控制舱内, 多名操作人员要在多种复杂态势下通过种类繁多的显示器及控制器完成人与设备之间的人机交互, 又要完成与指挥员以及其他操作员之间的信息协同交互。另一方面, 由于现代空袭载体具有高机动性、高隐蔽性, 往往整个作战过程仅有十几秒钟, 指挥控制



收稿日期: 2018-11-29 修回日期: 2018-12-17;
基金项目: 国家自然科学基金(51675530);
作者简介: 蔡睿(1995-), 男, 江西九江, 硕士生,
研究方向为人机工效和人机交互界面; 王巍
(1974-), 男, 陕西长武, 博士, 教授, 研究方向为
人机交互技术和增强现实。

<http://www.china-simulation.com>

• 1019 •

舱作为指挥控制系统的核心,其决策的时效性是影响作战效能的关键因素^[1-2]。对操作人员任务的合理规划成为提高作战效率的重要因素之一,起着越来越重要的作用^[3]。尤其是需要多席位协同配合完成的任务的合理规划,不但可以提高资源利用率,还可以提高完成任务的效率和质量^[4]。因此合理的对协同任务进行规划,减少协同操作时的空闲时间,对提高作战效率具有重要的研究意义。

目前,大量学者已经对任务规划做了大量的研究工作。颜骥^[5]针对多智能体协同任务分配问题,建立了分布式任务分配模型,并运用一致性包算法进行了模型求解;文献[6-8]针对大型企业人员协同任务规划问题分别采用遗传算法、神经网络算法以及蚁群算法建立了协同任务规划模型;GENG L^[9]针对多目标任务,以多架无人机组成的无人机群为例,考虑进攻、探测、侦查等协同任务,建立任务规划模型;EUN Y^[10]考虑任务完成的效率,以无人机组为例,建立了无人机协同任务完成时间最短的任务规划模型;SUJIT P B^[11]针对任务分配问题,基于粒子群算法对无人机的多任务分配问题进行了任务规划。目前任务规划在我国军事领域的具体应用,主要集中在武器目标分配^[12-13]、无人机系统调度^[14-15]等领域,而针对指控舱中的多人多席位协同任务进行任务规划的方法研究相对较少。其中李培林^[16]针对指控舱中的多席位协同任务,提出了基于时序逻辑调度算法的任务规划方法,优化了任务模型的时效性。

基于上述情况,本文针对多席位协同任务特点,模型,以任务完成时间最小为目标函数,建立了基于优先排序的协同任务优化模型,以解决任务号手匹配冲突和任务之间时序逻辑问题;同时采用多维异步处理及修正惯性权重参数对粒子群优化算法进行了改进,对模型进行了求解,并通过协同任务分配实例验证了该方法的有效性,对指挥控制舱协同任务完成时间,提升作战效率具有重要意义。

1 多席位协同任务模型

1.1 问题描述

指挥控制舱作为操作人员与武器系统进行人机交互的场所,完成一套完整的作战流程需要多名操作人员的协同配合,常见的操作人员包括操作号手和任务指挥员等。具体的作战指挥任务和操作号手之间存在着复杂的约束关系,每个号手只能完成其操作器上指定的任务,但并非是各号手之间相互独立。号手除了要完成自身分配的任务外,由于逻辑时序的存在,各号手之间也存在着协同交互的关系。因此,考虑任务完成情况下的任务流程时效性,分析任务流程并对任务进行重新编码,编码流程如下:

(1) 设需要完成任务总数为 N , R_i 表示第 i 项任务,其中 $i=1,2,\dots,N$;

(2) 设舱内的操作号手数为 m , H_j 表示第 j 个号手,其中 $j=1,2,\dots,M$;每一项具体的任务不能同时被多名号手操作,只能由某一名号手操作完成;

(3) 设每个任务开始的时间、完成该项任务需要的时间分别为 st_i , t_i ;

(4) 设任务 R_i 的之前的先行任务单元集合为 $\text{pre}R_i$ 。

上述描述的所有协同任务构成的集合为需要执行的任务集 R , $R=(R_1,R_2,\dots,R_N)$;操作号手集合为 $H=(H_1,H_2,\dots,H_M)$;则对于每一项具体任务都可以描述为 $\{R_i,H_j,t_i,\text{pre}R_i\}$ 。

为了方便对模型进行处理,简化问题的研究,假设模型处在以下 3 种情况:

- (1) 同一时间内一个号手只能进行一个任务;
- (2) 号手之间进行信息传递的时间算在任务执行时间内;
- (3) 每一个任务完成所需时间都是固定的。

1.2 基于优先排序的优化模型的建立

(1) 任务-号手解空间

由于操作号手完成任务流程的过程具有时序

逻辑, 因此在任务规划的过程中存在任务分配给非空闲号手的冲突。通过对任务进行时序排序, 建立一个对时序进行规划的解空间模型可以有效解决冲突。该解空间模型可用 0-1 矩阵进行表示。则 n 个任务与 m 个号手的可行解空间为:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: y_{ij} 表示任务 R_i 和号手 H_i 之间相匹配的结果; $y_{ij}=1$ 表示号手 H_i 参与任务 R_i ; $y_{ij}=0$ 表示号手 H_i 未参与任务 R_i 。

$\sum_{i=1}^m y_{ij}=1$ 为任务正在被执行, $\sum_{i=1}^m y_{ij}<1$ 为号手空闲, $\sum_{i=1}^m y_{ij}=1$ 表示号手参与任务, $\sum_{i=1}^m y_{ij}>1$ 表示号手之间发生冲突。当矩阵有可行解时, 说明号手和分配的任务之间无匹配冲突, 可以进行该任务。

(2) 约束条件

若每一个任务-号手矩阵有可行解, 需满足的条件为各任务的执行时间确定以及执行任务的前序任务已经全部完成。即解空间约束条件:

$$st_i \geq \max(\text{pre}(st_i + t_i)) \quad (2)$$

式中: st_i 表示第 R_i 项任务开始执行时间; $\max(\text{pre}(st_i + t_i))$ 表示第 R_i 项任务执行前所有任务完成时间的最大值。

此外, 同一个时刻不存在多项任务占用一个号手 u , 即一个号手只能执行一项任务; 另外, 对于具有逻辑顺序的任务, 其逻辑顺序为: $R_i \rightarrow R_j$, 则解空间约束条件即为:

$$st_i(H_j) \geq st_i(H_j) + t_i \quad (3)$$

式中: $st_i(H_j)$ 表示号手 H_j 执行任务 R_i 的开始时间; $st_i(H_j)$ 表示号手 H_j 执行任务 R_i 的开始时间; t_i 表示任务 R_i 的执行时间。

(3) 目标函数

由于任务规划的目标是提高完成作战任务的时效性, 因此规划目标为规划出最短的任务完成时间, 即目标函数为:

$$\min J = \max(st_i + t_i) \quad i=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

由式(4)可知: 总任务中的某一项任务的开始时间点加上执行该任务所需要的时间为完成该任务的时间点, 取所有这样时间点中的最大值对应的时间就是完成作战任务的总时间。

2 多席位协同任务规划算法

传统的优化算法由于其直观性和经验构造性, 可以在较短的时间内对任务规划问题求解出约束条件下的可行解。因此, 利用传统的优化算法如粒子群算法^[7]、蚁群算法^[8]、遗传算法^[9]等, 将任务规划问题转化为优化问题进行求解, 是最常用的解决方法。对于多席位多人的任务规划问题, 采用传统的粒子群优化算法进行求解时, 往往任务的时序约束无法解决, 容易出现任务操作人员占用冲突。为此, 本文结合多席位协同任务规划的数学模型, 对传统的粒子群算法进行改进:

(1) 采用“快速逼近-精细调节”的策略对惯性权重进行修正;

(2) 通过多维异步处理机制对粒子的位置进行调整, 从而保证粒子迭代的可行性, 即任务与号手之间匹配的可行性。

2.1 改进的粒子群算法

(1) 编码设计

以多席位协同任务规划中任务-号手解矩阵 Y 构建寻优粒子群, 执行各任务的号手序号即为矩阵各列的行标, 同时也是各个寻优粒子的维。粒子 i 的当前位置表示为 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$; 当前速度表示为 $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ 。

(2) 粒子群进化方程及改进

由于本次多席位协同任务规划目标是求得作战任务完成时间最小, 所以各粒子的速度和位置根据式(5)、式(6)来确定:

$$v_i(t+1) = \omega v_i(t) + c_1 r_1(t)(p_{\text{best}_i}(t) - x_i(t)) + c_2 r_2(t)(g_{\text{best}_i}(t) - x_i(t)) \quad (5)$$

式中: ω 为惯性权重; r_1, r_2 为 $[0,1]$ 之间的随机

数; c_1, c_2 为学习因子; p_{best} 为个体最优解; g_{best} 为全局最优解。

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (6)$$

由上述方程可知, 将粒子各维速度限制在 $[-v_{\text{mas}}, v_{\text{mas}}]$ 区间内, 可以有效防止粒子离开搜索空间。

为避免在迭代进化的过程中陷入局部极小值, 考虑到传统的惯性权重取值 $\omega=1$ 时, 往往会因为局部搜索能力较差导致搜索精度不高, 为此, 本文通过式(6)对惯性权重加以修正:

$$\omega = \omega_{\text{max}} - \text{iter}(\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{min}}) / \text{iter}_{\text{max}} \quad (7)$$

式中: $\omega_{\text{max}}, \omega_{\text{min}}$ 分别为惯性权重的最大值、最小值; iter 表示当前算法迭代次数; iter_{max} 表示算法总的迭代次数。惯性权重 ω 随着迭代次数的增加呈线性趋势递减, 算法的搜索精度随着搜索区域的减少而得到了提高。

(3) 任务-号手解空间处理

在粒子寻优过程中, 当粒子的维不可行, 即任务与号手匹配不可行时, 若以迭代速度继续修正粒子位置, 则会改变所有维, 导致搜索效率降低, 且会忽略最优位置。为提高算法的收敛性, 当粒子的维不可行时, 对粒子进行异步处理修正。修正方法为: 寻优过程中速度矢量的不可行维保持原值, 而将匹配可行的维置于 0, 随后根据新的速度矢量修正得到的粒子位置继续进行迭代进化, 当粒子所有的维都可行后完成修正。

(4) 适应度函数的构建

由于任务规划的目标为规划出最短的任务完成时间, 所以适应度函数可以由完成所有任务所需的最长时间来描述, 即为:

$$f = \max_{i=1}^n (st_i + t_i) \quad (8)$$

2.2 算法步骤

本次协同任务规划的具体算法步骤如图 1 所示。

步骤 1: 将粒子初始化, 给定粒子种群规模、确定初始速度以及位置; 给定惯性权重参数 $\omega_{\text{max}}, \omega_{\text{min}}$; 同时确定学习因子 c_1, c_2 以及最大迭代

次数 iter_{max} 。

步骤 2: 通过计算初置粒子群全体最优位置

和个体最优位置 p_{best} 。

步骤 3: 根据式(5), (6)修正粒子的速度和位置。

步骤 4: 粒子各维可行性判别以及异步处理。

步骤 5: 根据式(8)计算粒子适应值。

步骤 6: 计算并对 p_{best} 和 g_{best} 进行更新。

步骤 7: 判断是否达到终止条件, 当算法达到全局收敛或最大迭代次数 iter_{max} 时, 输出当前最优值, 否则转步骤 3。

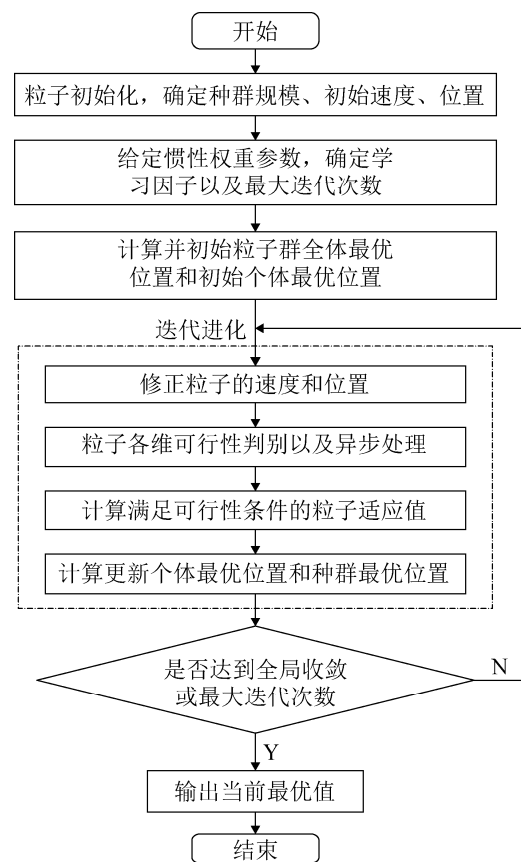


图 1 算法步骤流程图

Fig. 1 Flow chart of algorithm steps

3 实例分析

以某型指挥控制舱典型作战过程发现目标准备阶段的任务流程为例, 对其 4 个席位的 23 个协同任务进行任务规划。首先对 23 项任务按照任务流程进行编号, 根据作战逻辑时序关系、实际时间测量得到其任务描述如表 1 所示。

表 1 任务基本信息及模型描述
Tab. 1 Task basic information and model description

号手	H1	H2	H3	H4
	{7,1,2,{3}}	{1,2,4,0}	{5,3,4,{7}}	{3,4,10,{2}}
	{11,1,3,{1}}	{2,2,4,{1}}	{9,3,7,{5、6}}	{18,4,3,{10}}
	{16,1,2,{10、11}}	{4,2,2,{3}}	{10,3,3,{9}}	
		{6,2,5,{8}}	{12,3,3,{1}}	
任务集		{8,2,5,{4}}	{17,3,6,{16}}	
		{13,2,5,{6}}	{19,3,3,{10}}	
		{14,2,9,{10、12}}	{20,3,3,{14、17}}	
		{15,3,3,{10}}	{23,3,3,{15、18、19、20}}	
		{21,2,3,{13}}		
		{22,2,3,{21}}		

为保证算法的收敛性, 连续运行 10 次改进的粒子群算法对上述任务进行规划, 最优结果如图 2 所示。

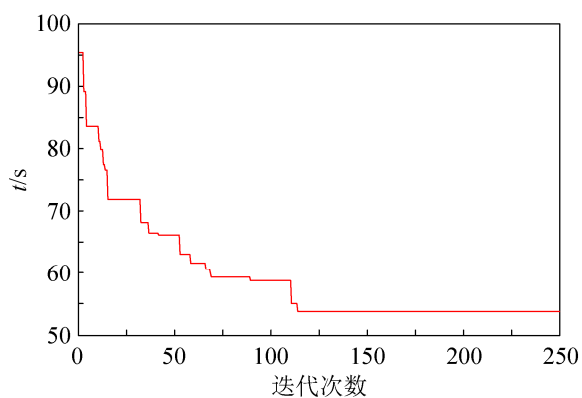


图 2 改进粒子群算法进化过程

Fig. 2 Improved particle swarm optimization iterative process

通过绘制任务甘特图如图 3 所示, 表示本次规划的总任务中各任务单元执行和完成的时间位置, 能容易的看出各个任务单元之间的串并行时序关系。原始任务划分采用基于逻辑时序的任务规划方法^[10], 任务规划甘特图如图 4 所示。与本文采用的任务划分相比较, 串行任务较多, 且在原始席位划分中有 5 名操作号手, 从图 4 中可以看出操作号手之间存在较多的空闲时间, 对于时间的利用不够合理, 67 s 的完成时间也相对较长。

由图 3 可知, 与原始任务划分相比, 采用本文提出的规划方法规划后的任务完成时间明显变短, 任务衔接更加紧凑, 任务完成时间仅需 54 s, 空闲时间减少了 13 s, 任务总时间缩短了 19%, 且从图中可以看出, 任务执行逻辑时序发生了改变, 提高了协同作战任务效率, 证明了该多席位协同任务规划模型以及求解算法的有效性。

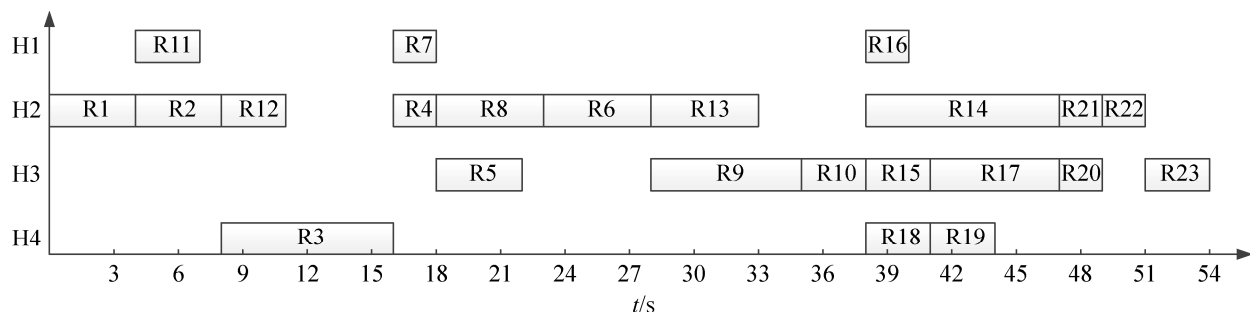


图 3 基于改进粒子群算法的任务规划甘特图

Fig. 3 Task planning Gantt chart based on improved particle swarm optimization

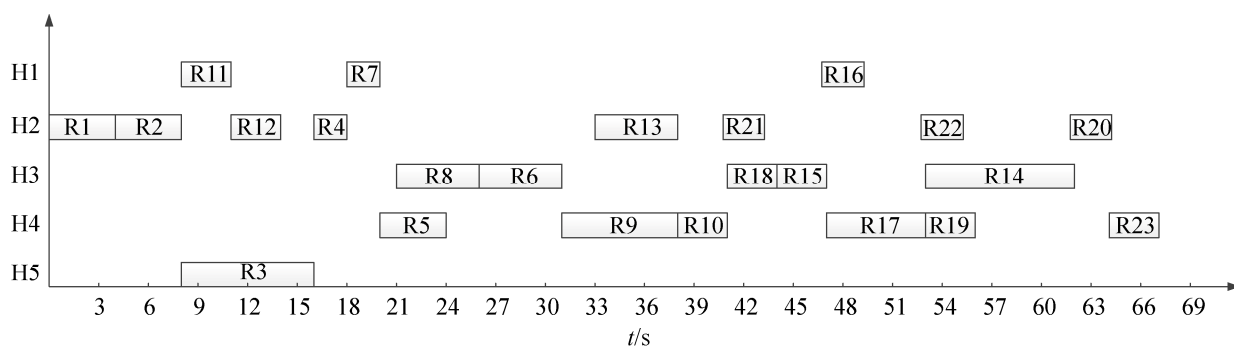


图4 基于逻辑时序的任务规划甘特图

Fig. 4 Task planning Gantt chart based on logical time sequence

4 结论

针对武器系统中指挥控制舱多席位协同任务规划问题,本文提出了一种基于改进粒子群算法的多席位协同任务规划算法。该算法利用了粒子群算法在求解任务规划上的优势,针对其任务规划中的时序逻辑问题和任务与号手之间的匹配冲突问题,构建了基于排序的协同任务规划模型;同时,通过多维异步处理来修改惯性权重参数,优化了算法的收敛性,提高了算法的局部搜索能力和搜索效率。并通过实例验证:该模型及提出的算法能有效的减少指挥控制过程中操作号手的空闲时间,大大缩短了多席位协同任务执行时间,对提高作战效率具有重要意义。

参考文献:

- [1] 陆卫星, 王宇飞. 发展军用方舱技术 推进武器装备现代化建设—专访我国军用方舱研制与生产专家华国强 [J]. 中国军转民, 2012 (9): 40-42.
Lu Weixing, Wang Yufei. Development of Military Shelter Technology to Promote the Modernization Weapons and Equipment —an Interview with China's Military Shelter Development and Production Experts Hua Guoqing [J]. Conversion in China, 2012 (9): 40-42.
- [2] 颜声远. 武器装备人机工程 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2009.
Yan Shengyuan. Human Factors in Weapons and Equipment [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2009.
- [3] Stefan Chanas, Adam Kasperski. Minimizing maximum lateness in a single machine scheduling problem with fuzzy processing times and fuzzy due dates [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence (S0952-1976), 2001, 14(3): 377-386.
- [4] Kathrin Klamroth, Margaret M Wiecek. A time-dependent multiple criteria single-machine scheduling problem [J]. European Journal of Operational Research (S0952-1976), 2001, 135(1): 377-396.
- [5] 颜骥, 李相民, 刘波. 考虑时序约束的多智能体协同任务分配 [J]. 控制与决策, 2015, 30(11): 1999-2003.
Yan Ji, Li Xiangmin, Liu Bo. Multi-agents cooperative task allocation with precedence constraints [J]. Control and Decision, 2015, 30(11): 1999-2003.
- [6] 徐焕, 查志勇, 彭祥礼, 等. 工作流程中人员合作任务的调度优化模型仿真 [J]. 计算机仿真, 2014, 31(12): 380-383, 396.
Xu Huan, Zha Zhiyong, Peng Xiangli, et al. Simulation on Scheduling Optimization Model for People Cooperation Tasks in Workflow [J]. Computer Simulation, 2014, 31(12): 380-383, 396.
- [7] 邓向阳, 张立民, 黄晓冬. 一种基于蚁群优化的装备保障任务调度方法 [J]. 计算机工程, 2013, 39(2): 283-287.
Deng Xiangyang, Zhang Limin, Huang Xiaodong. An equipment support tasks scheduling method based on ant colony optimization [J]. Computer Engineering, 2013, 39(2): 283-287.
- [8] 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 Jieyong, Yao Peiyang, Zhou Xiangxiang, et al. Approach to operation task and platform resource matching based on DLS and GA [J]. System Engineering and Electronics, 2012, 34(5): 947-954.
- [9] Geng L, Zhang Y F, Wang J J, et al. Cooperative task planning for multiple autonomous UAVs with graph

- representation and genetic algorithm [C]// IEEE International Conference on Control and Automation. IEEE, 2013: 394-399.
- [10] Eun Y, Bang H. Cooperative Task Assignment and Path Planning of Multiple UAVs Using Genetic Algorithm [C]// AIAA Infotech@Aerospace 2007 Conference and Exhibit. 2013.
- [11] SUJIT P B, GEORGE J M, BEARD R. Multiple UAV task allocation using particle swarm optimization [C]// AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Honolulu: 2008: 72-83.
- [12] 蔡怀平, 陈英武. 武器-目标分配(WTA)问题研究进展 [J]. 火力与指挥控制, 2006 (12): 11-15.
Cai Huaiping, Chen Yingwu. The Development of the Research on Weapon-Target Assignment (WTA) Problem [J]. Fire Control & Command Control, 2006 (12): 11-15.
- [13] 王步云, 姜伟, 徐建志. 基于多 Agent 的编队导弹攻击火力分配的优化研究 [J]. 指挥控制与仿真, 2008 (2): 45-47.
Wang Buyun, Jiang Wei, Xu Jianzhi. Optimization of Fire Disposition for Formatted Anti-Surface Missiles Based on Multi-Agent [J]. Command Control & Simulation, 2008 (2): 45-47.
- [14] 王国强, 罗贺, 胡笑旋. 无人机编队协同任务规划仿真系统研究 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(8): 1856-1862.
Wang Guoqiang, Luo He, Hu Xiaoxuan. Research on UAV Formation Coordinated Task Planning Simulation System [J]. Journal of System Simulation, 2014, 26(8): 1856-1862.
- [15] 朱毅, 张涛, 程农, 等. 多 UAV 协同任务规划研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(增 2): 194-199.
Zhu Yi, Zhang Tao, Cheng Nong, et al. Research on Cooperative Mission Planning of Multiple UAVs [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(S2): 194-199.
- [16] 李培林, 付琛, 王崴, 等. 时序逻辑控制的多席位任务协同调度算法 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2016, 17(5): 42-47.
Li Peilin, Fu Chen, Wang Wei, et al. An Algorithm of Multi-Seats Task Collaborative Scheduling Based on Temporal Logic Control [J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2016, 17(5): 42-47.