

一种基于 PSO 的装备战场抢修力量 调度多目标决策模型

张 军, 江勋林, 武 鹏, 秦一凡

(中国人民解放军理工大学 野战工程学院, 南京 210007)

摘要:随着现代战争的破坏性的增强,装备战场抢修需求会大量增加,需要组建机动分队进行战场抢修支援。针对派遣多个机动抢修分队的情况,应当在规定时间内完成抢修任务的前提下,综合考虑装备作战能力恢复、抢修耗时、费用等因素,尽量取得最好的整体抢修效益;以此为背景建立了装备战场抢修力量调度多目标决策模型,给出了一种基于实数编码的模糊学习子群多目标粒子群算法(FLSMOPSO)进行求解,同时解决了多分队任务派遣和任务排序两个问题;最后给出了实例,验证了模型的实用性和算法的有效性。

关键词:多目标;粒子群算法;实数编码;任务派遣;任务排序

中图分类号:E237

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2013)05-0069-04

Multi-objective Decision-Making Model of BDAR Unit Scheduling Based on PSO

ZHANG Jun, JIANG Xun-lin, WU Peng, QIN Yi-fan

(College of Field Engineering, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: As modern warfare destructive enhanced, BDAR needs will be in a substantial increase. It makes us to set up mobile repair units to support the tasks. With the situation of dispatching multiplex mobile repair units, we should be considering the equipment operational capability recovery effect, repair time-consuming, cost and other factors, and try to achieve the best overall repair efficiency under the premise of completing the tasks within a predetermined time. This article established an Equipment Battlefield Repair task allocation multi-objective decision-making model in this background, and solved the model with a FLSMOPSO based on the real-coded, while addressing the two issues of the multi-units - dispatching tasks and ordering tasks. Finally, an example was given to verify practicality of the model and effectiveness of the algorithm.

Key words: multi-objective; FLSMOPSO; real-coded; dispatching tasks; ordering tasks

随着高新技术在战场上的运用,现代战争火力打击的广度、强度和精度都不断增强,在战争中出现不同地点的多个装备损伤将会成为一种普遍现象,部队伴随修理力量的配置一般都非常有限,要求其在规定时间内完成所有战场抢修任务已经不可能,需要组建若干机动抢修分队进行战场抢修支援。面对战场上各个地点不同的抢修任务,如何合理调度机

动抢修力量,规划抢修分队的修理路线,确定任务执行顺序,使得在抢修任务按要求完成的前提下,整个战场上的装备战斗力的恢复效果更好,同时修理总时间,修理花费变得更小,需要进行合理科学的决策。针对装备抢修力量的调度,国内进行过很多研究,但研究的方向大多比较单一,一般都是针对单个分队进行的研究,或者是从一个角度进行的研究,例

收稿日期:2013-01-09

基金项目:国家自然科学基金(61105073)。

作者简介:张军(1984—),男,硕士研究生,主要从事工程装备保障理论与技术研究。

如王雷^[1]从抢修时间角度对装备定点抢修和巡修情况进行了研究;张芳玉^[2]、王锐^[3]等从指派问题的角度出发研究了多个抢修分队完成多个抢修任务的情况;牛天林^[4]、刘利^[5]、颜炳斌^[6]、张濡川^[7]、田冕^[8]分别从不同的角度出发,研究了多个抢修任务的抢修排序问题。这些针对装备战场抢修力量调度不同角度的研究虽然给出的相应的解法,但仍然存在不足:如约束条件过于片面简单、脱离战场实际;评价指标单一,不能突出战场抢修中抢修力量调度的特点;仅解决部分问题,即任务指派或任务排序,没有综合考虑两种需求。本文将从战场抢修的效果(战斗力恢复情况)、时间、花费(包括修理费用和机动过程中的花费)3个角度出发,建立多分队战场抢修力量调度优化决策模型,并提出一种实数编码的粒子群算法进行求解,同时解决多目标多分队装备抢修力量调度两个方面的问题:抢修任务的指派和各分队的抢修任务排序,从而为抢修决策提供科学的参考和依据。

1 问题描述

假定在某战斗区域内,对装备机动抢修力量的分配由装备保障指挥机构统一决策。装备保障部门,配置若干机动抢修分队,设有一抢修点作为机动分队出发基地,该抢修点同时也具备后送装备的抢修能力。在某时刻共接受来自 s 个地点的 m 个装备战场抢修任务请求,连同抢修点修理力量在内共有 n 支抢修力量可执行任务。出发基地和各任务点两两之间的距离已知,用 $m+1$ 维矩阵 D 表示,其中,将抢修点排在第一维, m 个任务的地点为接下来的 m 维,对于处于相同地点的任务,可定义他们间的距离为 0。

抢修任务涉及的装备在战斗任务中的重要性不尽相同,用 m 维数组 β 来表示其重要性,简称为战斗力指数。

x_{ij} 表示第 j 支修理力量完成第 i 个抢修任务的能力。 c_{ij} 表示第 j 支修理力量完成第 i 个抢修任务的花费。 t_{ij} 表示第 j 支修理力量完成第 i 个抢修任务的时间。 y_{ij} 表示任务的抢修分队选择,其中:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \begin{cases} \text{第 } j \text{ 个抢修力量负责} \\ \text{完成第 } i \text{ 个抢修任务} \end{cases} & (i = 1, 2, \dots, m) \\ 0 & \begin{cases} \text{第 } j \text{ 个抢修力量不} \\ \text{负责完成第 } i \text{ 个抢修任务} \end{cases} & (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases}$$

T_j^1 表示第 j 个抢修力量的修理总时间, T_j^2 表示第 j 个抢修力量的机动总时间, T_j 表示第 j 个抢修力量任务完成总时间,则对于机动抢修力量来说,显然有 $T_j = T_j^1 + T_j^2$,但对于抢修点抢修力量而言,它的任务完成总时间应当是从首台装备后送开始到其所承担的所有装备都返回战场为止所用的时间。 T_{\max} 表示所有任务完成的期限。 V_1 表示抢修力量机动速度, V_2 表示后送至抢修点的装备机动速度, D_j 表示第 j 个抢修力量行驶的总路程,对于抢修点而言,其里程计算的应当是承修装备后送及返回战场的总里程之和。 c^1 表示机动分队的单位里程的花费, c^2 表示后送至抢修点的装备的单位里程花费。

现装备保障指挥机构需要制定派遣机动分队对相关任务请求地点进行抢修支援的方案,明确各分队所承担的具体任务以及执行次序,以及哪些装备后送至抢修点进行抢修,抢修点抢修任务的次序安排。要求所有抢修任务能够准时完成,装备作战能力恢复总效果最好,任务完成时间尽量短,总花费尽量少。

2 模型建立

模型建立前,先进行如下假定:每个任务由一个抢修力量完成;所有任务都必须完成;任务完成时间只考虑到抢修分队完成最后一个抢修任务的时刻,最后的返回时间不作考虑。

根据上面所述的特点与要求,战场机动抢修力量调度优化决策应当满足以下几个目标:抢修装备总体战斗力水平恢复程度最高, $\max\{z_1 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \beta_i * x_{ij} * y_{ij}\}$ 。修理任务完成时间最短, $\min\{\max(T_j)\}$, $j \in [1, n]$ 。抢修总花费最少, $\min\{z_3 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} * y_{ij} + \sum_{j=1}^{n-1} D_j * c^1 + D_n * c^2\}$ 同时,该优化问题还应当满足以下条件约束:任务完成时间; $\max(T_j^1 + T_j^2) \leq T_{\max}$, $j \in [1, n]$ 。任务完成方式, $\sum_{j=1}^m y_{ij} = 1$, $i \in [1, m]$ 。

3 模型求解

这是一个典型的多目标组合优化决策问题,很容易看出,这也是一个 NP 问题。针对此类问题,可使用现代启发式算法进行求解。粒子群算法 (PSO),自 1995 年提出以来,其简单的实现方式和更强的全局优化能力一直倍收瞩目,引起了学术界的广泛关注,在短短几年内出现了大量的研究成果。在这里,选用一种基于模糊学习子群的多目标粒子群算法 (FLSMOPSO)^[9] 进行求解,该算法利用模糊学习规则加强了粒子群局部搜索能力,其基本思路是在粒子群搜索过程中,粒子的学习不是确定地学习一次,而是不确定地学习 p 次产生 p 个粒子,形成一个具有 p 个粒子的子群;然后对 p 个粒子进行分析评价,从中选取最优位置作为该粒子的新位置,相应的速度作为当前最优速度,并将 p 个粒子中所有互不支配的粒子与外部档案中的非劣解进行对比,对外部档案进行维护。

3.1 粒子编码

选用合理的粒子编码方式有助于提高粒子群算法的速度和效率,粒子群算法现有的编码方式有实数编码,二进制编码,整数编码。使用整数编码方式的优点是易于解码,计算适应度方便,缺点是计算量比较大,计算结果比较差,粒子群易陷于局部极值点,早熟收敛的情况比较严重。使用整数编码方式使粒子群算法自身的优点没有发挥出来。本文进行编码方式选择时借鉴吴斌^[10]在解决 CVRP 问题时提出的

一种实数编码方式,以便将一个离散的组合优化问题,转变成为一个连续的多目标问题进行求解,从而使得算法得到简化。具体方法是将所有抢修任务和抢修分队进行编号排序,针对每个任务,赋予其一个实数编码,其整数部分表示任务所采用的修理分队,小数部分表示该任务在该数组中的修理次序,对于整数部分相同的实数,按其小数部分从小到大对实数所对应的任务编号进行排序,即得到该分队的修理任务和修理次序。例如:假设有 7 个任务,3 个分队,对粒子进行如下编码:

任务编号: 1 2 3 4 5 6 7

方案编码:1.3 2.5 3.1 1.1 2.2 2.3 3.8

则对应的 3 个分队的修理任务决策方案为

第 1 组:4 1

第 2 组:5 6 2

第 3 组:3 7

相应的巡修路线也可以根据上述结果求得。

3.2 粒子调整

因为每个抢修分队不可能完成所有的抢修任务,在粒子初始化和粒子位置更新时,必定会生成很多不可行解,必须对这些不可行解进行调整。具体方法是对粒子的每一维的整数部分进行检查,当发现某一维不符合要求时,随机选择可行的分队编号将该维的整数部分替换。同时,为了保证粒子的学习性,在粒子调整结束后,其相应的速度也需要进行调整,只需用调整后的粒子位置值减去上一代的粒子位置值即可。

3.3 外部档案的二次优化

战场抢修任务调度,对时效性的要求会有所侧重,因此,在每次外部档案维护结束后,可对外部档案进行二次优化更新。对档案中的每个粒子所对应的方案,按照各分队任务完成时间最短的要求进行重新排序,然后用等步长法对粒子编码小数部分进行更新,最后用更新后粒子替代原有粒子。

3.4 算法流程

在确定了问题模型和粒子编码方式之后,使用 FLSMOP-SO 解决此问题,可按如下步骤进行:随机产生一个初始群体 S_0 ;根据约束和支配关系,得到初始的外部档案 A_0 ,令进化代数 $t=0$;初始化每个粒子的局部最优解和全局最优解;迭代循环直到最大进化代数:自适应参数调整,主要包括惯性权重,学习因子;针对群中的每个粒子,模糊生成 p 个粒子,对这些粒子进行检查,不符合要求的进行调整,并对相应的粒子速度也进行调整;对粒子进行解码,根据目标函数,计算各粒子的适应度值,对 p 个粒子进行比较,从其互不支配的粒子中以最大模糊满意度选择一个粒子作为该粒子的新位置,并对速度进行更新,将所有互不支配的粒子与档案中的非劣解进行比较,对外部档案进行维护;对外部档案进行二次更新; $t=t+1$;转至下一步。对最后的外部种群进行解码,给出候选决策方案。

4 算法实验

假设某抢修点共接到 30 个抢修任务请求,来自 10 个地

点,抢修点共组建 8 个抢修分队,各抢修分队抢修能力不同,只能完成部分抢修任务,抢修点可承担所有任务的抢修。

抢修任务所在地点之间及与抢修点之间的距离已知,用一个 31 维矩阵 D 表示

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 42 & 42 & 42 & \cdots & 15 & 15 & 20 & 20 \\ 42 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 29 & 29 & 36 & 36 \\ 42 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 29 & 29 & 36 & 36 \\ 42 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 29 & 29 & 36 & 36 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 15 & 29 & 29 & 29 & \cdots & 0 & 0 & 12 & 12 \\ 15 & 29 & 29 & 29 & \cdots & 0 & 0 & 12 & 12 \\ 20 & 36 & 36 & 36 & \cdots & 12 & 12 & 0 & 0 \\ 20 & 36 & 36 & 36 & \cdots & 12 & 12 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

战斗力指数 $\beta = \{10, 11, 11, 12, 14, 9, 10, 8, 7, 9, 6, 15, 9, 10, 7, 6, 10, 13, 9, 14, 10, 8, 7, 9, 10, 11, 6, 8, 9, 12\}$ 。

分队机动速度为 50,单位里程消耗为 0.05,装备后送至抢修点机动速度为 20,单位里程消耗为 0.5。

任务完成期限为 14,各分队针对各任务的修理水平、修理时间、修理花费都是已知,分别如表 1、表 2、表 3 所示(Null 表示该分队不能完成该修理任务)。

表 1 各分队修理水平

任务编号	1	2	3	...	28	29	30
机动分队 1	0.8	0.77	0.9	...	Null	0.83	0.8
机动分队 2	Null	0.8	0.85	...	0.8	0.8	Null
...
机动分队 8	Null	Null	0.82	...	0.73	0.8	Null
抢修点	1	1	1	...	1	1	1

表 2 各分队修理时间

任务编号	1	2	3	...	28	29	30
机动分队 1	3	3.6	4	...	Null	3.2	3.6
机动分队 2	Null	3	3.7	...	5	2.8	Null
...
机动分队 8	Null	Null	3.8	...	4	3	Null
抢修点	2	2.5	2.4	...	3.5	2	2.2

表 3 各分队修理花费

任务编号	1	2	3	...	28	29	30
机动分队 1	10	9	14	...	Null	22	9
机动分队 2	Null	10	12	...	16	21	Null
...
机动分队 8	Null	Null	11	...	12	19	Null
抢修点	12	10	13	...	17	24	10

用 FLSMOPSO 进行计算,内部种群数量设为 200,外部种群数量设为 1 000,惯性权重设为 0.4,学习因子设为 2 和 1,外部档案二次优化最短时间方案的选择使用穷举法,因为最大允许修理时间为 14,对照表,找出各方案修理的最短时间,可以发现,当单个分队修理任务超过 6 的时候,肯定会超

过最大允许时间,这样的解是非法解,因此,对于整数位有超过 6 维是相同的粒子,将其舍弃,这样使得穷举法的计算量大大减少。进行 100 次迭代,得出 34 组方案,表 4 列出其中 5 组具有代表性的方案,表 5 列出方案相应的目标值。

表 4 求得的部分优化方案

分队编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
方案 1	27,22,7,9	24,18,4	21,13,6	23,19,16	1,3,17	11,14,12	2,5,15	28,20	26,25,8,29,30
方案 2	27,22,9,11	2,24,18	13,12,14	23,19,16	29,3,17	8,4,6	28,5,15	20,10,25	26,1,7,21,30
方案 3	27,9,11,18	24,2	12,14,4	23,19,16	29,3,7	22,6,1	28,5,15	20,10,25	26,7,8,13,21,30
方案 4	2,7,8,11	3,9,10	24,4,1	27,13,18	25,21,6	30,23,19	28,15,16	5,14,17	26,20,22,12,29
方案 5	2,9,7	25,11,8,10	24,4,1	27,13,18	21,6,3	23,12,19	28,15,16	5,14,17	26,20,22,29,30

表 5 方案相应的目标值

目标值	战斗力恢复	任务完成时间	修理花费
方案 1	242.44	12.76	423.75
方案 2	245.38	13.2	438.5
方案 3	247.01	13.5	466.5
方案 4	246.96	12.94	427.75
方案 5	244.82	13.38	411.5

列出的这 5 组方案分别是战斗力恢复效果最好,任务完成时间最短、花费最少三种情况以及两组折衷方案从这些方案可以看出,候选决策方案各有特点,既可以满足不同偏好,也能够偏于均衡,可以给决策者提供很好的参考和科学依据。

5 结束语

在信息化战争中,战场抢修的决策会变得越来越复杂,抢修任务的数量,任务的种类,抢修分队的抢修能力的制约都会大量增加,通过数学方法进行优化决策将是必由之路。经过实验,该计算模型和算法在决策 50 个任务和 20 个抢修分队时,只需要适当扩大内、外部种群数量,依然可以求得优化方案,具有很强的实用性。但如何考虑更多的战场情况,比如单个任务的时间窗口,修理任务的紧前约束和紧后约束等更多制约,还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 王雷. 装备战场抢修时间计划研究[D]. 长沙:国防科技大学,2010.
- [2] 张芳玉,高崎,何鹏,等. 战时装备维修任务指派模型及算法研究[J]. 运筹与管理,2006,15(1):62-65.
- [3] 王锐,李羚伟,郭波,等. 一种基于多目标多约束的战时抢修力量调度[J]. 兵工自动化,2010,29(1):34-37.
- [4] 牛天林,王洁,杜燕波,等. 装备战场抢修任务优先度排序决策研究[J]. 火力与指挥控制,2011,36(3):127-130.
- [5] 刘利. 基于贝叶斯网络的战场抢修顺序优化模型[J]. 航天控制,2005,23(6):72-75.
- [6] 颜炳斌. 基于多准则的战损装备抢修排序决策模[J]. 机械工程学院学报,2007,19(1):1-3.
- [7] 张濡川. 基于模糊多属性决策的威胁度评估与排序研究[J]. 现代防御技术,2005,33(1):15-18.
- [8] 田冕. 大型武器系统战损单元战场优先抢修目标的模糊决策分析[J]. 四川兵工学报,2009,30(2):94-96.
- [9] 江勋林,郭坚毅,唐建,等. 一种基于模糊学习子群的多目标粒子群算法[J]. 计算机应用研究,2011,28(12):4492-4494.
- [10] 吴斌. 车辆路径问题的粒子群算法研究与应用[D]. 浙江工业大学,2007.

(责任编辑 周江川)