

数字化机步旅抢修任务动态调度框架研究

陈伟龙¹, 陈春良¹, 陈康柱², 刘彦¹, 王雄伟¹

(1. 装甲兵工程学院 技术保障工程系, 北京 100072; 2. 装甲兵工程学院 训练部, 北京 100072)

摘要: 针对一体化机动进攻作战中战场抢修任务动态分配缺乏量化确定方法的问题, 对数字化机步旅抢修任务动态调度的框架结构进行了研究; 借鉴 Hall 三维结构方法论, 从对象维、过程维和技术维 3 个维度建立了抢修任务动态调度的框架结构, 并以此为基础, 分析梳理出了抢修任务动态调度的 7 个核心子问题, 总结了这些核心子问题的自身特性, 为抢修任务动态调度的后续研究提供了宏观规划和微观指导。

关键词: 战场抢修; 任务分配; 动态调度; 框架结构; 霍尔三维结构

Study on Architecture of Dynamic Battlefield—rush—repair Task Scheduling Problem for Digitized Mechanized—brigade

Chen Weilong¹, Chen Chunliang¹, Chen Kangzhu², Liu Yan¹, Wang Xiongwei¹

(1. Department of Technique Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;

2. Department of Training, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: This paper does a study on architecture of dynamic battlefield—rush—repair task scheduling problem for digitized mechanized—brigade in the offensive operation, aimed at solving the problem that dynamic scheduling of battlefield rush—repair task are lack of quantitative defining methods. According to Hall methodology, the architecture of dynamic battlefield—rush—repair task scheduling problem is built in three dimensions which include factor dimension, process dimension and technique dimension. And on this basis, the key sub problems and their characters of dynamic battlefield—rush—repair task scheduling problem are analyzed and summarized. This paper provides macro planning and micro guidance for follow—up study of dynamic battlefield—rush—repair task scheduling problem.

Keywords: battlefield—rush repair; task allocation; dynamic scheduling; architecture; Hall methodology

0 引言

在进攻作战中, 传统机械化部队的维修保障以定点开设修理所为主, 伴随保障能力薄弱, 导致停机维修时间长、作战周期内修复装备数量少、进攻部队作战能力恢复慢。以一体化信息系统为支撑的数字化机步旅, 为增强其持续进攻作战能力, 亟需建立建强伴随保障力量。本文以数字化机步旅在一体化进攻作战中的战场抢修为研究对象, 提出了抢修任务动态调度这一军事问题, 建立了基于 Hall 三维结构的抢修任务动态调度的三维框架结构, 剖析归纳出了需要解决的核心子问题及其特性, 能够为数字化机步旅抢修任务动态调度这一复杂问题的研究与解决提供宏观规划和微观指导。

1 问题的提出与定位

1.1 研究范围设定

- 1) 作战方式选择: 一体化机动进攻作战。
- 2) 作战主体: 数字化机步旅下辖的多个合成营。
- 3) 合成营编组: 营指挥部、坦克连、步兵连、炮兵连及其它上级加强的作战力量。
- 4) 研究主体: 数字化机步旅编组的多个机动抢修组。

5) 抢修对象: 限定为合成营的地面突击装备, 包括 R 型主战坦克、A 型履带式步兵战车、M 型自行火炮。

6) 抢修组力量构成: 1 辆轮式指挥车、2 辆装甲抢修车、1 辆装甲运输车、1 辆综合修理车。

7) 抢修范围内的损伤程度: 负责抢修 120 min 内能完成的轻度损伤及极少部分中度损伤的装备。

8) 抢修方式: 考虑到机动进攻作战的时效性要求, 其修理方式为现地抢修, 由伴随抢修力量承担。

9) 抢修方法: 以换件为主, 必要时采用拆解修理和应急修理。

10) 恢复状态: 根据实际情况, 恢复或部分恢复其作战功能。

11) 陆航、工兵、通信等参战力量的故障装备修理, 不属于伴随抢修力量的任务范畴, 不列入研究范围。

1.2 抢修任务动态调度问题的提出

数字化机步旅以一体化信息系统为支撑, 将作战体系内的各作战单元、保障单元和指挥控制单元紧密联系起来。其在遂行一体化进攻作战任务时, 具有机动能力较强、作战空间巨大、作战节奏迅猛、持续时间较短、战损装备众多等特点^[1-2]。

在有限作战周期内, 因敌炮火打击, 必然会在不同时刻、不同地点、不断出现不同损伤程度的故障装备 (包括自然磨损、操作失误、战损)。为缩短抢救后送耗时和战损装备的停机修理, 亟需合理地运用伴随保障力量, 通过迅速、高效地现地抢修, 在有限作战周期内尽可能多地修复或部分修复损伤装备, 使其能够再次投入战斗。

收稿日期: 2017-01-20; 修回日期: 2017-02-04。

作者简介: 陈伟龙 (1988-), 男, 四川雅安人, 博士研究生, 主要从事装备保障系统运行与优化方向的研究。

陈春良 (1963-), 男, 河北保定人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事装备保障方向的研究。

为取得最优的整体抢修效果, 在一体化信息系统的支撑下, 从全局效益出发, 综合考虑故障位置、维修工作量、修理能力等限制条件, 将众多抢修任务合理分配给抢修单元(包括: 明确不同抢修组间的任务分工, 及同一抢修组内的抢修序列), 并根据战场态势发展及不断更新的抢修需求信息, 适时调整任务分配计划。本文将该问题称之为抢修任务动态调度(Dynamic Battlefield-rush-repair Task Scheduling Problem, DBTSP)。抢修任务动态调度的示意图如图 1 所示。

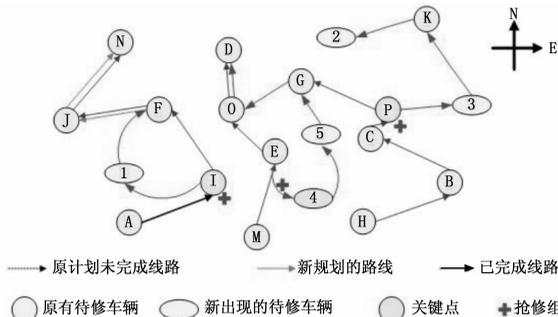


图 1 抢修任务动态调度示意图

抢修任务动态调度问题的核心影响因素包括: 故障时间、故障位置、计划维修工作量^[3]、转场时间、故障装备的可能恢复状态、待修装备任务重要度^[4]、修理能力差异、抢修力量损失、遍历型抢修与非遍历型抢修、重调度驱动策略等。且其中部分影响因素又存在不确定性, 包括随机不确定性和模糊不确定性, 如计划维修工作量、转场时间。

1.3 抢修任务动态调度问题的定位

在数字化机步旅一体化进攻作战中, 战场抢修涉及诸多内容, 抢修任务动态调度在战场抢修中的定位如图 2 所示。抢修任务动态调度的实质是进行抢修力量的任务区分和指挥控制。前者即是对已知的初始抢修任务进行分配, 可称之为静态调度; 后者则是在抢修需求不断发生变化时, 迅速地调整决策方案(即任务分工), 尽可能快速地恢复战损装备战斗力, 即动态调度。

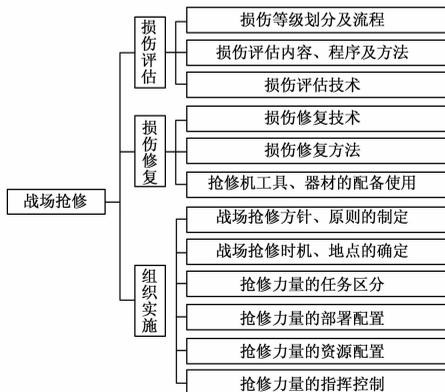


图 2 抢修任务动态调度的定位

2 抢修任务动态调度的三维框架结构

Hall 三维结构^[5]是一种解决有结构的“硬系统”问题的方法论, 为研究复杂系统工程问题提供了统一的思想方法^[6-8]。基于 Hall 三维结构方法论, 提出抢修任务动态调度的

三维框架结构, 其主要由对象维、过程维和技术维组成, 具体如图 3 所示。建立抢修任务动态调度的三维框架结构, 有助于从系统层面对问题进行分解和剖析, 能够为问题的解决提供方向指导。

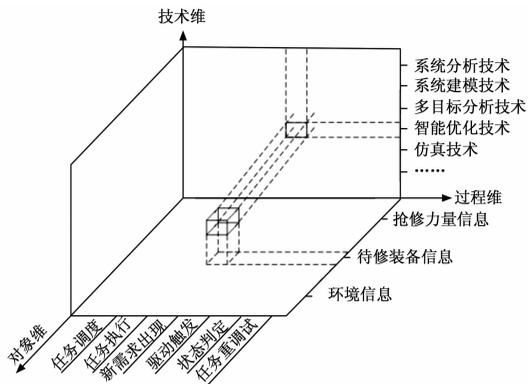


图 3 抢修任务动态调度的三维框架结构

2.1 对象维

对象维是抢修任务动态调度问题的研究对象, 包括: 抢修力量信息、待修装备信息、环境信息。

(1) 抢修力量信息, 是指在一体化机动进攻作战过程中, 数字化机步旅中所有参与战场抢修的抢修力量的相关信息, 包括:

(1) 所有抢修单元的编制信息, 如各抢修单元的保障装备信息、保障人员信息等;

(2) 在作战周期内的任意时刻, 所有抢修单元的状态信息, 如各抢修单元在任意时刻的位置信息、人员/装备损失情况信息、抢修任务执行进度信息等。

(2) 待修装备信息, 是指在一体化机动进攻作战过程中, 发生故障且进入抢修力量修理范围的所有待修装备的相关信息, 包括:

(1) 损伤信息, 如损伤时刻、坐标位置、装备类型、预计所需维修工作量等;

(2) 抢修进度信息, 如修竣与否、恢复状态、预计修竣时刻、剩余修理工作量等。

(3) 环境信息, 是指在一体化机动进攻作战周期内, 除去抢修力量信息和待修装备信息外, 与抢修任务动态调度问题相关的其它所有信息, 包括:

(1) 作战起止时刻;

(2) 各作战单元、武器装备的在各个进攻阶段的任务信息、位置信息;

(3) 各作战单元、武器装备的相互关系信息;

(4) 地形、道路、气象水文信息等。

2.2 过程维

过程维反映了抢修任务动态调度的逻辑程序和实现过程, 包括 6 个环节: 任务调度、任务执行、新需求出现、驱动触发、状态判定、任务重调度; 且这 6 个环节形成了一个闭环, 在作战过程中不断循环运行。

(1) 任务调度, 是指在一体化机动进攻作战周期内, 指挥中心根据决策时刻的已知信息, 包括抢修力量信息、待修装备信息和环境信息, 通过任务调度算法求得该时刻最满意的任务分配结果, 将已知的待修装备分配给不同抢修单元, 并明确其

抢修顺序。

2) 任务执行,是指各抢修单元依据最新的任务分配结果,按序对既定待修装备进行抢修,将其修复至指定恢复状态,并上报各修竣装备的实际修理时间和实际修竣时刻。

3) 新需求出现,是指在各抢修单元执行抢修任务期间,伴随着一体化机动进攻作战的继续进行,在不同时刻、不同地点会不断出现新的故障装备。

4) 驱动触发,是指指挥中心不断收集整理最新统计的抢修力量信息、待修装备信息和环境信息,根据进攻作战的战场态势和待修装备信息,选定不同的抢修任务重调度驱动策略与其阈值,并判断重调度驱动何时触发以及是否触发。

5) 状态判定,是指当抢修任务重调度驱动被触发后,指挥中心需要明确该时刻的抢修力量信息、待修装备信息,判定各抢修单元状态(忙或闲?正在转换抢修地点或是正在进行抢修损伤装备?)和待修装备的状态(是否正在被修理或等待修理中?)。

6) 任务重调度,是指根据决策时刻的已知信息再次进行任务调度,重新调整各抢修单元间的任务分工,以期从整体上取得最优的抢修效果。

2.3 技术维

技术维是指完成过程维 6 个环节工作所需的各种专业知识和管理知识,包括系统分析技术、系统建模技术、多目标处理^[9]技术、智能优化^[10]技术、仿真技术等。这些技术与方法的突破与合理应用是解决抢修任务动态调度问题的关键之一。

3 抢修任务动态调度问题的分析

基于对“抢修任务动态调度的三维框架结构”的分析可知,问题的根本解决途径在于:以对象维中的各要素为研究对象,合理运用或设计技术维中的多种方法或手段,对过程维中的每一个环节进行建模和求解,最终实现对抢修任务动态调度问题满意解的动态追踪。以对象维和过程维的前述分析为基础,可梳理出实现抢修任务动态调度需要解决的多个核心子问题。

3.1 需要解决的核心子问题

3.1.1 目标参数如何确定

在一体化进攻作战中遂行战场抢修,核心目标在于尽快恢复或部分恢复受损装备的任务功能,使其能够再次投入战斗,且修竣装备对作战装备体系的贡献最大。应以迅速恢复进攻作战部队的“作战效能”为第一目标,向下分解,需要综合考虑在有限时间内抢修完成的数量、抢修完成的质量、抢修对象的重要程度、抢修的及时程度。如何选择合理的、可量化的目标参数,是解决抢修任务动态调度的首要问题。

3.1.2 数学模型如何建立

多个合成营协同遂行作战任务,影响整体抢修效果的影响因素众多,选择什么参数能够将多个影响因素衔接起来,从何角度能够抽象出抢修任务动态调度的数学模型,且保证该模型能够求得解析解或能够通过智能优化算法求得满意解。

3.1.3 故障装备恢复至何种状态

故障装备的不同恢复状态反映了各抢修单元对各故障装备进行抢修时的不同修理深度,决定了修竣装备的作战功能恢复程度的大小。如何采用科学方法在修理时间和作战功能恢复率之间做出权衡,确定适合的恢复状态,使得修竣装备对进攻作

战装备体系的贡献最大。

3.1.4 待修装备任务重要度如何确定

该问题的实质是“考虑时间因素和不同恢复状态的待修装备重要度评估”。即在各个抢修任务动态调度的规划时刻,考虑任一故障装备的所有不同的恢复状态,如何量化地分析、计算将该装备恢复至不同状态对于规划时刻的作战装备体系的贡献大小,并比较该规划时刻所有待修装备的贡献度的高低。同时,采用何种方法为战场抢修原则“先抢修指挥装备,后抢修战斗装备”和“先抢修主要方向的故障装备,后抢修次要方向的;先抢修第一梯队的故障装备,后抢修第二梯队的”提供量化方法支撑。

3.1.5 非遍历型抢修如何实现

所谓非遍历,是指在有限的进攻作战周期中,敌火打击势必造成我方故障装备不断出现和增多,而所属抢修力量有限,导致抢修力量无法在进攻周期内完成对所有损伤装备的战场抢修,只能综合权衡各方面影响因素,选择部分损伤装备进行修理。非遍历型问题的实质是从 N 中取 n (n 具有不确定性)、规模为 n 的遍历型问题,内含了遍历与非遍历两种抢修任务调度问题。现有关于动态车辆路径问题 (Dynamic Vehicle Routing Problem)^[11-13]、生产规划问题 (Production Scheduling)^[14]、多无人机协同任务规划 (Cooperative Task Allocation for Multiple Unmanned Aerial Vehicle)^[15-16] 及三者变体的研究,其实质大多属于遍历型,相应的模型、算法等均无法用于求解非遍历型问题。因此,如何遵循实际约束限制,有效解决非遍历型寻优难题,是一大难点。

3.1.6 重调度驱动策略如何确定

典型的重调度驱动策略包括单事件驱动策略、时间分批驱动策略、数量分批驱动策略。对于同一输入条件,采用不同驱动策略,将得到不同的抢修任务决策方案和抢修效果。面对不同输入,如何合理确定或设计重调度驱动策略,使得抢修任务决策方案能够得到相对最佳的整体抢修效益。

3.1.7 如何设计、验证求解算法

抢修任务动态调度问题属于 NP 问题,随着故障装备规模的增大,无法在短时间内求解其解析解。依据数学模型的目标函数和约束条件,如何设计合理、高效的求解算法,并验证算法的合理性,使其能够动态追踪问题的满意解。

3.2 核心子问题的特性分析

通过对“三维框架结构”和“3.1 需要解决的核心问题”的分析和归纳,总结出抢修任务动态调度问题具有以下几方面特性:

1) 时效性。数字化机步旅遂行一体化机动进攻作战任务,其作战周期十分有限,如不能在有限进攻周期内通过战场抢修恢复或部分恢复故障装备的作战功能,则该装备不能继续参加本次作战,也就对整个进攻作战体系没有贡献。因此,抢修任务动态调度必须考虑抢修任务的完成时限。

2) 复杂性。在抢修任务动态调度过程中,进攻作战任务、装备故障时刻、位置、计划/实际所需修理工时、抢修单元修理能力差异等众多约束条件相互交织,多个决策分目标相互博弈,致使问题在建模、求解时复杂程度很高。

3) 整体性。单一抢修单元的抢修效果最优并不能保证所有抢修单元的整体抢修效果最优,应该将多个抢修单元视作一个整体,相互协调,合理分配抢修任务,以谋求整体抢修效果

最有利于恢复进攻部队的战斗力。

4) 动态性。在抢修任务执行过程中, 决策环境信息会不断发生变化, 如出现新的抢修需求信息、敌火打击导致的抢修力量损失、抢修实际与抢修计划的偏差等。为赢得更优的整体抢修效果, 装备保障指挥员需要适时调整各抢修单元的任务分工以及抢修顺序。

5) 不确定性。在进行抢修任务分配时, 新抢修需求出现的时间/地点、待修装备所需的修理工时、转场所需时间、待修装备的恢复状态等, 均具有明显的随机不确定性或模糊不确定性, 使得决策的难度和风险很大。

6) 优先性。在一体化机动进攻作战中, 承担不同作战任务的不同作战单元、承担不同作战任务的相同武器装备均具有不同抢修优先级。优先抢修不同故障装备, 对进攻作战体系所做的贡献不同。

7) 组合爆炸性。抢修任务动态调度问题是在等式或不等式约束下对指标的优化, 随着影响因素的增多、问题规模的增大, 其可行解集迅速膨胀, 计算量急剧增加, 呈爆炸式增长, 传统的精确求解方法在有限时间内无法解决该问题。

4 结束语

抢修任务动态调度的实现, 能够为装备保障指挥员提供辅助决策支持, 缩短保障决策时间, 降低主观决策风险, 提高作战周期内的装备参战率和修竣装备的体系贡献率。下一步研究方向: 以三维框架结构为指导, 逐个解决 3.1 中提出的需要解决的核心子问题。

参考文献:

- [1] 张晓明, 王志国, 杜燕波. 美国陆军斯特瑞克旅战斗队装备体系研究 [M]. 北京: 军事科学出版社, 2012.
- [2] 王建盈. 陆军数字化部队作战研究 [M]. 北京: 国防大学出版社, 2002.
- [3] 王正元, 朱 昱, 宋建社, 等. 动态维修任务调度的优化方法 [J]. 机械工程学报, 2008, 44 (1): 92-97.

(上接第 107 页)

设计低散射载体应注意遵循以下准则:

- 1) 为减低前向散射水平, 载体的横向对缝应设计成曲率连续;
- 2) 台阶与缝隙应位于载体上的曲面一侧;
- 3) 为减低前向散射水平, 应尽可能加大前缘尖削度, 将散射峰值偏移到前向关注的角域外;
- 4) 减小连接曲面之间的倒圆半径, 以降低其边缘绕射。

参考文献:

- [1] 张 考, 马东立. 军用飞机生存力与隐身设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [2] 桑建华. 飞行器隐身技术 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2013.
- [3] 桑建华, 周 海. 飞行器表面电磁缺陷及雷达吸波材料应用 [J]. 航空材料学报, 2003, 23 (2): 51-55.
- [4] 黄沛霖, 刘战合. 飞行器表面缝隙电磁散射特性研究 [J]. 航空学报, 2008, 29 (3): 675-680.
- [5] 桑建华, 张宗斌, 王 烁. 低 RCS 飞行器表面弱散射源研究 [J].

- [4] 郭 军, 宋建社, 杨 檬, 等. 基于证据理论的多任务抢修重要度决策 [J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33 (3): 581-584.
- [5] Hall A D. Three-dimensional morphology of systems engineering [J]. IEEE Transactions on System Science and Cybernetics, 1969, SSC-5 (2): 156-160.
- [6] 张天学, 张延欣, 张福祥. 系统工程学 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2004.
- [7] 胡 静, 金晓斌, 李红举, 等. 基于霍尔三维结构的土地整治信息组织模式 [J]. 农业工程学报, 2014, 30 (3): 188-193.
- [8] 邢 彪, 宋太亮, 曹军海. 装备保障体系建模与仿真关键技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (4): 108-111.
- [9] Deb K, Pratap A, Agarwal S, et al. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6 (2): 182-197.
- [10] 文仁强, 陈建国, 袁宏永, 等. 基于蚁群优化算法的多级应急响应下灾后应急资源空间优化配置 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2012, 52 (11): 1991-1996.
- [11] Hvattum L M, Lokketangen A, Laporte G. Solving a dynamic and stochastic vehicle routing problem with a sample scenario hedging heuristic [J]. Transportation Science, 2006, 40 (4): 421-438.
- [12] Güner A R, Murat A, Chinnam R B. Dynamic routing under recurrent and non-recurrent congestion using real-time its information [J]. Computers & Operations Research, 2012, 39 (2): 358-373.
- [13] Ferrucci F, Block S, Gendreau M. A pro-active real-time control approach for dynamic vehicle routing problems dealing with the delivery of urgent goods [J]. European Journal of Operational Research, 2013, 225 (1): 130-141.
- [14] 杨业建, 姜泽毅, 张欣欣. 板坯热轧批量计划数学模型及求解算法 [J]. 北京科技大学学报, 2012, 34 (4): 457-463.
- [15] 潘 峰, 陈 杰, 任智平, 等. 基于计算智能方法的无人机任务指派约束优化模型研究 [J]. 兵工学报, 2009, 30 (12): 1706-1712.
- [16] 刘 洋, 章卫国, 李广文, 等. 动态环境中的无人机路径规划方法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2014, 40 (2): 252-256.
- [17] 航空工程进展, 2012, 3 (3): 257-263.
- [6] 张 扬, 艾俊强, 王 健, 等. 倾斜双垂尾 L 频段电磁散射特点分析 [J]. 电讯技术, 2015, 55 (11): 1260-1265.
- [7] 李永俊. 电磁理论的高频方法 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1999.
- [8] 袁浩波, 高岫林, 李 兵, 等. 一种高精度求解磁场积分方程的高阶矩量法 [J]. 西安交通大学学报, 2013, 47 (12): 61-65.
- [9] 张宗斌, 陈益邻, 高正红. 三维复杂目标求解的多层快速多极子方法 [J]. 南京航空航天大学学报, 2007, 39 (2): 222-226.
- [10] 黄小忠, 曹伟华, 杜作娟, 等. 高频电大尺寸飞机目标的矩量法分析 [J]. 计算机仿真, 2012, 29 (5): 37-41.
- [11] 满明远, 雷振亚, 谢拥军, 等. 电大目标散射问题的预修正多层快速多极子分析 [J]. 西安电子科技大学学报 (自然科学版), 2012, 39 (2): 133-137.
- [12] 邹 昕. 电大尺寸复杂目标 RCS 快速求解的方法 [J]. 西安工程大学学报, 2013, 27 (2): 193-197.
- [13] 董 健, 庞 晨, 温沙蒙, 等. 基于并行 MLFMA 算法的大规模电磁场并行数值仿真计算软件 [J]. 计算机工程与科学, 2013, 35 (3): 31-37.