

基于 OODA 环的飞行保障辅助决策架构设计

孙保明, 陈娟, 陈秀嘉
(91977 部队, 北京 100036)

摘 要: 针对当前机场面临的飞行保障态势掌握不全、计划制定辅助决策能力不强、应急反应能力不足等问题, 提出一种基于 OODA 环的飞行保障辅助决策架构。首先, 基于飞行计划、保障计划和实时保障数据, 自动生成机场保障全局可视化通用态势图; 其次, 提出一种基于报价-出价模式的飞行保障辅助决策流程; 最后, 利用分布式并行协商机制解决保障资源动态分配问题, 实现飞行保障方案敏捷生成, 提高飞行保障的有效性和及时性。

关键词: 飞行保障; 辅助决策; 分布式并行协商机制

中图分类号: F562

文献标志码: A

DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2025232

Design of flight support assistant decision-making architecture based on OODA loop

SUN Baoming, CHEN Juan, CHEN Xiujia
Unit 91977 of PLA, Beijing 100036, China

Abstract: In view of the current problems faced by airports, such as incomplete flight support situation, weak ability of decision-making, and insufficient emergency response capability, a flight support assistant decision-making architecture based on OODA loop was proposed. Firstly, based on flight plan, support plan and real-time support data, the visual and global support situation map was automatically generated. Secondly, a flight support assistant decision-making process was proposed based on the offer-offer mode. Finally, the distributed parallel negotiation mechanism was used to solve the problem of dynamic allocation of support resources, realizing the agile generation of flight support schemes, and improving the effectiveness and timeliness of flight support.

Keywords: flight support, assistant decision-making, distributed parallel negotiation mechanism

0 引言

随着新兴联合作战指挥体制的确立, 大规模多机型联合训练已成为新常态。机场飞行保障也从“保障单机种、小批量飞行”升级为“保障多机型、大批量飞行”, 整体呈现出以下特点: 一是作战出动强度大, 物资消耗多, 再次出动频度高, 飞行保障任务繁重; 二是机型种类多, 对多机型保障的要求高, 对飞行保障规则和要求严, 需要具备高效的多机型飞行保障能力; 三是应急反应要求高, 飞机无论是平时还是战时, 都因其战备程度高、反应速

度快而常被首先使用, 对飞行保障的应急反应要求高。在未来联合作战中, 需要多机型同时参与作战行动, 这对飞行保障的有效性和及时性提出了更高的要求。

当前, 机场飞行保障仍然以粗放式为主^[1], 外场飞行保障指挥员主要依靠经验指挥调度所属保障资源。这种保障模式应对传统的单机型保障任务尚可正常运转, 但面对多机型时就显现出了诸多弊端。一是保障资源利用率低。当前的保障模式中, 保障工作以“串行顺序”为主, 一种保障力量展开

的同时, 其余保障力量均原地待命, 这种保障模式“捆绑”了保障资源, 使保障资源大部分时间浪费在了等待上, 降低了资源利用率。二是保障现场安全隐患大。不同型号的飞机同时开展保障工作, 大量保障车辆和人员在各工作点位之间运转, 指挥员缺乏统一的飞行保障态势图, 保障现场很容易出现混乱, 给飞行安全埋下隐患。三是保障过程依赖于事先预测。传统的飞行保障主要根据飞行实施前制定的飞行保障计划执行, 其效率的稳定性依赖于统计值, 对应急条件下突发情况的响应总是落后一步。

飞行保障是一个多种资源动态协同工作、作业流程串行与并发共存、对资源的时间和空间特性要求非常严格的调度问题。保障作业涉及不同单位、不同部门之间的多方位协同, 是一个多约束条件下的 NP-Hard 问题^[2]。该问题的求解方法有排队模型^[3-4]、数学规划^[5]、动态贝叶斯网络^[6]和启发式算法^[7]。文献^[8]提出一种基于 (RFID) 技术的航材需求感知方法, 提高航材库存设置的合理性。文献^[9]提出一种军用机场智慧场务保障系统架构, 给出系统建设功能需求。上述方法只涉及某一种资源的需求预测和调度问题, 未整体考虑机场保障态势和应急保障需求, 飞行保障的有效性和及时性有待提高。

为解决上述问题, 本文基于 OODA 环理论设计了一种机场飞行保障辅助决策架构。该架构通过将各保障单元组成一个有机整体, 构建高度共享的机场保障环境感知和任务决策调度体系, 同时实现机场保障全局的可视化通用态势图构建和保障计划的高效敏捷辅助生成, 快速构建动态不确定条件下

的敏捷、持续、应急的智能化飞行保障。

1 基于 OODA 环的飞行保障辅助决策架构

基于 OODA 环的飞行保障辅助决策架构由飞行保障实施状态采集、机场运行状态监控、飞行保障辅助决策和专业勤务保障分队等模块组成, 如图 1 所示。采用集中规划分散执行的方式, 飞行保障辅助决策模块依据当前态势修改生成飞行保障计划, 专业勤务保障分队动态采集保障执行态势, 监视保障计划的执行状态, 通过前端人员在回路操纵 APP 完成管理保障任务的闭环执行, 有效支持飞行保障指挥人员的指挥决策, 缩短“观察、判断、决策、行动 (OODA)”周期和保障链。

1.1 飞行计划管理

飞行计划管理为机场飞行保障计划制定提供输入, 由独立系统组成, 不包括在机场飞行保障智能辅助决策系统中。

1.2 保障计划管理

根据飞行计划开展保障要素的分析和制定工作, 生成保障计划, 并将制定好的保障计划下发到各个保障部门, 各部门根据保障计划拟定详细的保障方案。

1.3 飞行保障实施状态采集

各专业勤务保障分队通过手持移动终端进行保障状态数据采集和上报, 辅助外场指挥员掌握保障资源状态, 包括人员、车辆、物资的可用数量及所在位置。

1.4 机场运行状态监控

建立二/三维机场地图, 引接机场场面监视雷

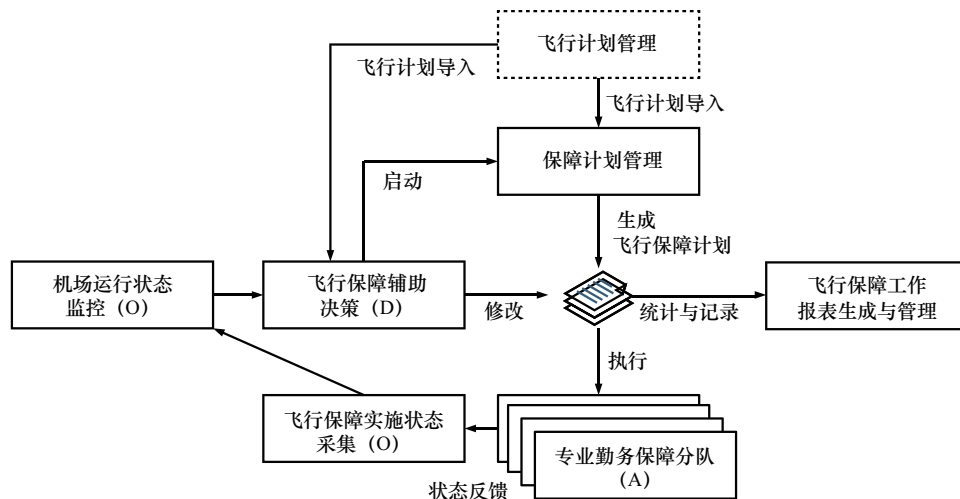


图1 基于 OODA 环的飞行保障辅助决策架构

达、一/二次空管雷达和广播式自动相关监视(ADS-B)系统地面站信息;接收汇集飞行保障分队上报的各类资源使用信息以及各类移动平台(包括各种车辆、航空器、人员)位置信息;依据机场信息数据库和WebGIS显示机场各类保障要素信息,为外场指挥员提供清晰全面的飞行保障态势,并为科学决策提供支撑。

1.5 飞行保障调度辅助决策

飞行保障调度辅助决策模块依据当前的保障任务及可用资源,依据相关规定和优化算法,生成/修改飞行保障计划,包括保障优先级排序、保障资源分配、保障方案枚举、保障方案分析及确认、航路规划等。

1.5.1 保障优先级排序

飞行保障调度辅助决策模块根据飞机到达时间先后顺序、飞机故障异常危险度、复飞任务优先级等,综合分析评估目标保障优先级。

1.5.2 保障资源分配

根据保障任务、装备条件、保障优先级排序等,实现面向全局最优的保障资源分配。

1.5.3 保障方案枚举

根据保障任务与保障资源构成,生成多种可选保障方案,按不同优化准则和偏好(总保障时间最短、总移动距离最短、优先任务优先保障度),形成多机种和多保障资源的全流程保障方案。

1.5.4 保障方案分析及确认

针对不同的保障方案,构建保障方案评估指标体系,形成保障方案评估的计算模型,对多个保障方案进行排序,确认选择最佳效能的保障方案。

1.5.5 航路规划

基于保障任务要求、实时机场态势、飞行安全性等,自动生成各种专业勤务保障装备的安全机动航路。

1.6 专业勤务保障

各专业勤务保障分队根据飞行保障调度指令开展专业勤务保障,具体包括以下内容。

对空保障:气象保障、空管保障、导航保障、通信保障。

飞行器保障:油料保障、四站保障、航材保障、维修保障。

场站保障:场务保障、驱鸟保障、警卫保障。

人员保障:卫勤保障、训练保障、营房保障、财务保障、思政保障、信息保障。

安全防护:设施防护、信息系统防护、四库一坪防护。

1.7 飞行保障工作报表生成与管理

建立年度、季度、月、日各类报表模板,支持编辑管理等操作,基于飞行训练活动数据,进行各类工作报表的自动生成以及基本数据的统计分析。

2 机场运行状态监控

机场运行监控模块综合各类信息,生成机场保障全局可视化通用态势图,如图2所示,主要包括机场场面状态、飞行计划执行状态。保障资源使用状态、飞行保障计划执行状态,各态势图动态联动,“一张图”实现全局视角全部资源的状态显示,为飞行保障人员指挥决策提供全面的数据支撑。

2.1 机场场面状态

通过引接场面监视雷达信息,接收各勤务保障

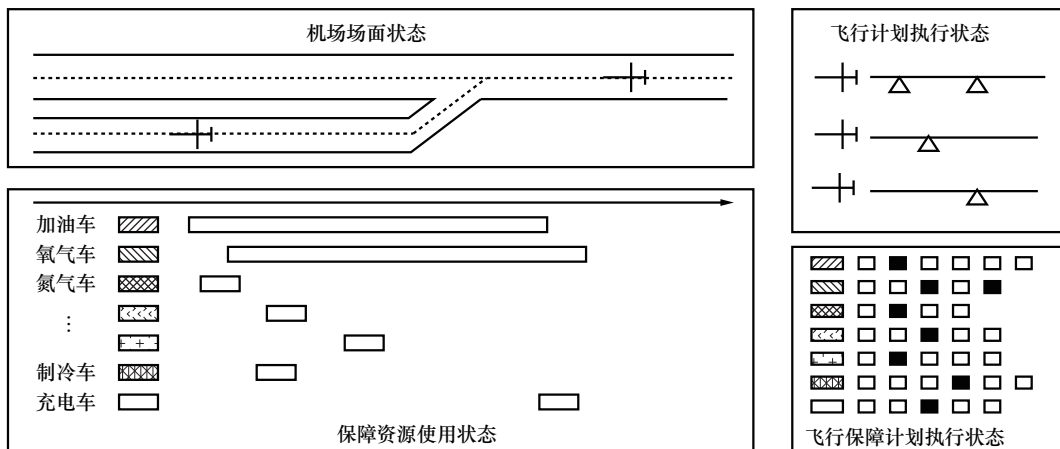


图2 机场保障全局可视化通用态势图

分队上报的状态信息,实时显示机场全部航空器、保障车辆、人员的位置,提供安全报警和危险接近提示。

2.2 飞行计划执行状态

显示飞行计划及当前执行情况,对关键飞行事件和应急事件进行标注和提示。

2.3 保障资源使用状态

显示各类保障资源(加油车、制冷车、充电车等)的使用情况,对不同保障资源的在用、空闲以及参数状态进行显示。

2.4 飞行保障计划执行状态

显示各类保障设备的任务甘特图,对在用设备的任务类型和任务时间段给出明确提示。

3 飞行保障辅助决策流程

飞行保障辅助决策流程如图3所示,具体包括飞行计划模块、飞行应急事件模块、飞行保障任务时序图模块、飞行保障指挥决策模块、报价请求模块、资源市场模块、出价模块、生成/修改保障计划模块。具体任务流程如下。

飞行计划模块:飞行计划模块发送飞机出发和返航的时间等信息给飞行保障指挥决策模块。

飞行应急事件模块:飞行应急事件模块发送应急事件(天气、任务变更)等信息给飞行保障指挥决策模块。

飞行保障任务时序图模块:飞行保障的业务逻辑,包括保障业务的时序关系——串行、并行、

条件、分支等,如液压检测、充氧、充冷、充氮、雷达检测、电源检测及启动的业务序列和逻辑顺序。

飞行保障指挥决策模块:发起任务投标请求,接受资源市场的报价需求,选择优化飞行保障计划。

报价请求模块:发出任务标书,具体为报价请求,涉及预期效果、优先级、服务质量、时间线等。

资源市场模块:资源市场将实体保障设备转化为虚拟保障能力,接受报价请求,组织资源按虚拟保障能力形成并发送执行任务的出价。

出价模块:保障资源完成保障任务的出价,具体包括服务质量、时间线和成本。

生成/修改保障计划模块:飞行保障指挥决策模块根据规划决策的运筹学算法,动态生成/修改保障计划模块计划。

4 保障方案敏捷生成方法

飞行保障辅助决策报价出价过程实际上是保障资源动态分配问题。针对该问题,本文提出一种基于分布式并行协商机制的飞行保障方案敏捷生成方法,如图4所示。该方法统筹机场飞行保障需求和保障资源能力,采用运筹学方法规划出全局最优的保障资源调度计划,实现保障资源在全局层面的最优化运行。

基于分布式并行协商机制的飞行保障方案敏捷生成方法主要包括两个部分。1)单兵力任务序列构

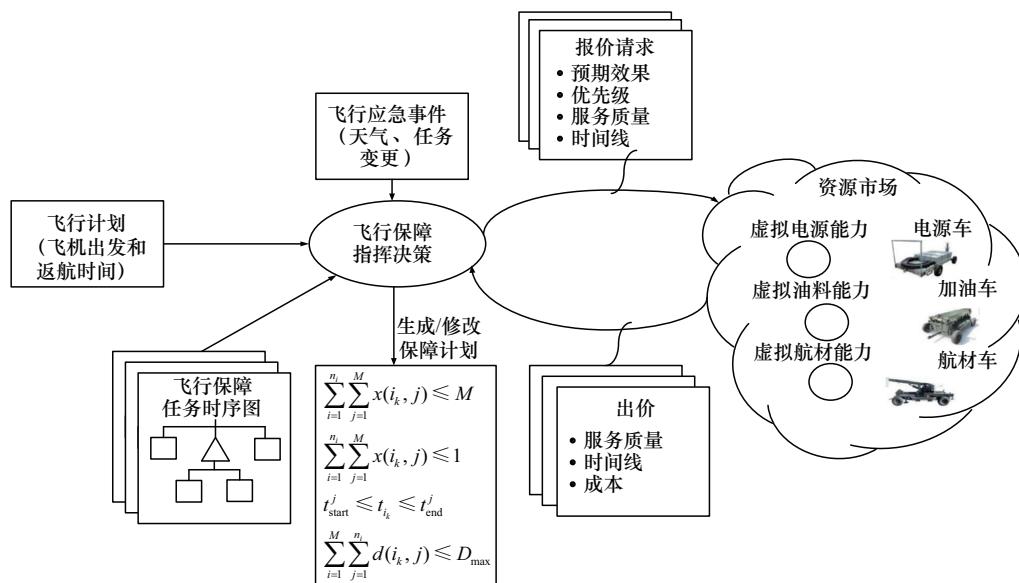


图3 飞行保障辅助决策流程

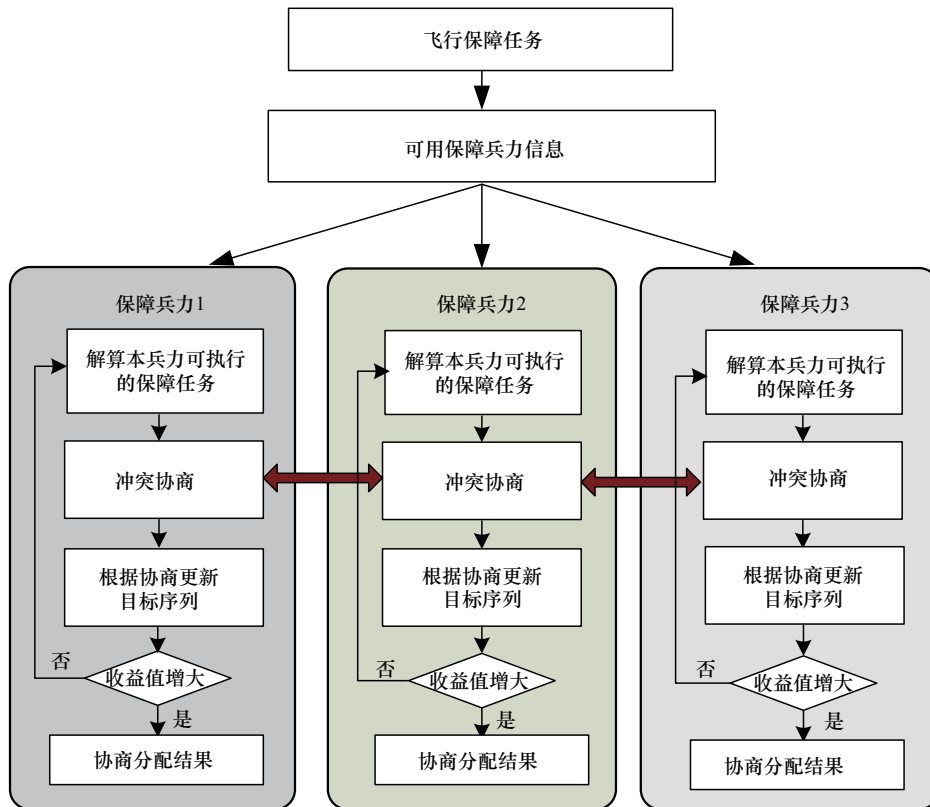


图4 基于分布式并行协商机制的飞行保障方案敏捷生成方法示意

建：飞行保障辅助决策模块公开广播待分配任务信息，各保障兵力构建自己的任务序列；若出现目标重复分配，进入多兵力间的协商阶段。2)多兵力间任务分配一致性协商：对重复分配的目标根据执行收益进行比较，确定最佳执行者；将未分配的目标在满足执行时间窗的前提下插入各个保障兵力平台任务序列中，并进行重复分配的目标的判断和更新，重复此协商过程，直至结果收敛。

5 结束语

大规模多机种同场训练日益增多对机场飞行保障能力提出了更高的要求，为适应新需求，本文设计了一种基于OODA环的飞行保障辅助决策架构。该架构可实现机场资源动态可视、信息实时传递、指挥控制智能高效、保障作业快速精确，有效提升机场飞行保障调度能力、应急事件快速反应能力和运行管理水平。

参考文献：

[1] 阎哲, 汪民乐, 汪江鹏, 等. 海军航空兵场站飞行保障问题研究[J]. 舰船电子工程, 2023, 43(4): 140-144.

YAN Z, WANG M L, WANG J P, et al. Research on the flight support of naval air force stations[J]. Ship Electronic Engineering, 2023, 43(4): 140-144.

[2] 张洪涛, 崔珊珊, 刘广, 等. 机群保障资源配置建模与优化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(4): 1019-1026.

ZHANG H T, CUI S S, LIU G, et al. Resource scheduling for air fleet operations[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2015, 35(4): 1019-1026.

[3] 徐刚, 鲁二斌, 负永刚. 多机种飞行保障装备配置数量需求预测[J]. 火力与指挥控制, 2021, 46(3): 160-168.

XU G, LU E B, YUN Y G. Demand forecast of multi-aircraft flight support equipment configuration[J]. Fire Control & Command Control, 2021, 46(3): 160-168.

[4] 徐刚, 张磊, 负永刚, 等. 多机种大机群再次出动保障资源配置仿真与优化[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(4): 892-899.

XU G, ZHANG L, YUN Y G, et al. Simulation and optimization of support resource allocation for multi-aircraft large fleet re dispatch[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(4): 892-899.

[5] 王文秀, 祝华远, 孙鲁青, 等. 机务准备中的保障装备配置优化分析[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(21): 6601-6602, 6610.

WANG W X, ZHU H Y, SUN L Q, et al. Optimum configuration of equipment in maintenance[J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(21): 6601-6602, 6610.

[6] 刘君阳, 朱世松. 基于DBN的飞行保障力量配置辅助决策方法[J]. 系

统仿真学报, 2023, 35(5): 1008-1019.

LIU J Y, ZHU S S. Auxiliary decision-making method for flight support force allocation based on DBN[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(5): 1008-1019.

- [7] 刘曼, 徐刚. 基于启发式算法的机群飞行保障任务调配问题研究[J]. 军事运筹与评估, 2023, 38(4): 43-49.

LIU M, XU G. A study on allocation of fleet flight support based on heuristic algorithms[J]. Military Operations Research and Assessments, 2023, 38(4): 43-49.

- [8] 张飏, 陈军. 基于需求智能感知的军用航材保障模式研究[J]. 指挥控制与仿真, 2019, 41(3): 76-79.

ZHANG B, CHEN J. Research on military aviation material support model based on requirement intelligence perception[J]. Command Control & Simulation, 2019, 41(3): 76-79.

- [9] 李子先, 陈荣俊. 军用机场智慧场务保障系统架构[J]. 兵工自动化, 2021, 40(4): 23-29.

LI Z X, CHEN R J. Architecture of intelligent field security system for military airfields[J]. Ordnance Industry Automation, 2021, 40(4): 23-29.

[作者简介]



孙保明 (1989-), 男, 河南周口人, 博士, 91977 部队工程师, 主要研究方向为机场信息化、系统工程等。



陈娟 (1981-), 女, 江苏盱眙人, 91977 部队工程师, 主要研究方向为计算机技术、航空管制。

陈秀嘉 (1989-), 男, 山东临沂人, 91977 部队助理工程师, 主要研究方向为航空管制。