

10-14-2020

Modeling Research on Assessment System for Army Maintenance Work Capacity

Haidong Du

*Department of Equipment Support and Remanufacture of Army Academy of Armored Forces, Beijing
100072, China;*

Junhai Cao

*Department of Equipment Support and Remanufacture of Army Academy of Armored Forces, Beijing
100072, China;*

Fusheng Liu

*Department of Equipment Support and Remanufacture of Army Academy of Armored Forces, Beijing
100072, 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.

Modeling Research on Assessment System for Army Maintenance Work Capacity

Abstract

Abstract: A set of simulation model design scheme is proposed to meet the needs of maintenance simulation evaluation of combined army. *After analyzing the principle of simulation evaluation of military maintenance capability, the requirements of the evaluation model is analyzed. The generation of maintenance tasks and the modeling scheme of maintenance support system are given; On the basis of the spare parts scheduling and the use process of support equipment, the maintenance support resource model is designed.* The modeling basis for the evaluation of equipment maintenance capability of the combined army is provided, which supports the design and application case study of the simulation evaluation system of the maintenance capability of the army.

Keywords

combined army, maintenance work, capacity, simulation

Recommended Citation

Du Haidong, Cao Junhai, Liu Fusheng. Modeling Research on Assessment System for Army Maintenance Work Capacity[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(10): 1854-1861.

典型陆军部队装备维修作业能力评估系统仿真建模研究

杜海东, 曹军海, 刘福胜

(陆军装甲兵学院装备保障与再制造系, 北京 100072)

摘要: 针对陆军部队维修作业仿真评估需求, 提出了一套仿真模型设计方案。分析了部队维修作业能力仿真评估原理, 进而明确了评估模型需求; 给出了维修任务生成、维修保障系统建模方案; 结合备件调度和保障设备使用过程, 设计了维修保障资源模型。为陆军部队装备维修作业能力评估提供建模基础, 用于支撑部队维修作业能力仿真评估系统的设计和应用案例研究。

关键词: 陆军部队; 维修作业; 能力; 仿真

中图分类号: O225

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2020) 10-1854-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0501

Modeling Research on Assessment System for Army Maintenance Work Capacity

Du Haidong, Cao Junhai, Liu Fusheng

(Department of Equipment Support and Remanufacture of Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China)

Abstract: A set of simulation model design scheme is proposed to meet the needs of maintenance simulation evaluation of combined army. After analyzing the principle of simulation evaluation of military maintenance capability, the requirements of the evaluation model is analyzed. The generation of maintenance tasks and the modeling scheme of maintenance support system are given; On the basis of the spare parts scheduling and the use process of support equipment, the maintenance support resource model is designed. The modeling basis for the evaluation of equipment maintenance capability of the combined army is provided, which supports the design and application case study of the simulation evaluation system of the maintenance capability of the army.

Keywords: combined army; maintenance work; capacity; simulation

引言

陆军部队进行了“师改旅”的编制体制改革, 极大改变了部队装备体系结构、作战训练任务和部队保障模式, 而部队维修作业体系, 直接决定和影响保障力量的数量规模、体系结构、编制模式和层级分布, 是整个装备保障体制改革的关键环节。随着

作战形式的多样化和武器装备的复杂化, 装备保障活动呈现出供修任务量大、时效性和准确性要求高、保障力量构成多元化、保障方式多样化等新特点^[1-4], 装备保障活动已由单层次保障力量简化分工发展成为各层次保障力量间的大量协同。对于装备保障这类复杂问题, 受到政治、经济、环境等因素的限制, 在无法进行大量的装备保障演练的情况下, 利用仿真技术研究保障问题已成为装备保障领域的发展趋势^[5-6]。

为了满足陆军部队维修作业能力仿真评估需求, 提出了一套部队维修保障系统模型设计方案,



收稿日期: 2020-07-19 修回日期: 2020-09-17;
基金项目: 军内科研项目(2018ZB60);
作者简介: 杜海东(1989-), 男, 安徽阜阳, 博士, 讲师, 研究方向为装备保障建模与仿真; 曹军海(通讯作者 1972-), 男, 陕西西安, 博士, 副教授, 研究方向为装备保障仿真; 刘福胜(1975-), 男, 河北南宫, 博士, 副教授, 研究方向为装备保障。

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

• 1854 •

有力支撑部队维修作业能力的定量分析与定性分析、模型测算与仿真验证, 结合案例分析和仿真系统设计, 为部队维修作业分配、编制结构以及编配员额等研究论证提供了支撑平台, 对于改革后的陆军部队维修作业体系建设与优化具有重要的指导意义。

1 模型需求分析

1.1 仿真设计原理

针对陆军部队维修作业能力评估需求, 仿真模型的构建主要涉及保障对象及其配套的维修保障系统, 而仿真策略以及模型设计方案选用至为关键。

(1) 保障对象仿真策略

典型陆军部队装备结构高度综合、功能集度高、任务依赖性强^[7-8], 如图 1 所示, 尽管能够准确反映系统功能与其子系统及关键部件的结构层次关系, 但其仅对系统静态组成关系进行了刻画。产品运行状态下, 随着任务进程的推进, 各阶段任务的执行需要不同子系统的动态连接与组合, 并且随机的加入和退出当前任务过程, 使得子系统及关联部件的时序相关性和阶段依赖性加强, 单纯从静态系统可靠性结构分析难以准确模拟产品运动过程中的故障规律^[9], 以致后续执行的维修保障活动也将千差万别。因而, 对于装备实体模型的构建要求一方面能够准确反映任务过程中系统以及各部件状态的更新和转移, 另一方面能够刻画装备实体层次化、动态结构变化的特点, 此外, 模型还应易于扩展、维护, 便于保障性指标的统计和分析。针对部队装备实体的相对独立性、彼此之间复杂的交互性和装备体系在宏观层次上的涌现特征^[10-11], 其仿真模型将基于 Agent 仿真策略进行构建。

(2) 保障系统仿真策略

维修保障系统运行涉及大量保障活动流程, 如装备动用、维修过程、器材调度、装备送修等具体活动^[12-13], 针对上述运行过程模型的设计将

进行模块化封装, 使其形成具备独立运行功能的模块, 如预防性维修中修, 它由多道串行、并行的维修具体工作组合得到, 通过将工序封装, 实现对其模块化改造, 其次再结合排队论、随机库存原理、计划决策系统的离散事件仿真方法, 实现对随机事件的调度, 提高仿真模型的扩展性、可重用性和运行效率。

对于维修作业系统而言, 主要涉及部队维修保障资源配置、保障策略等实际特点, 并能够结合维修作业体系改革要求做出相应改变, 比如维修任务分工、维修方式、维修机构力量编配等; 另一方面, 结合任务调度维修保障系统运行, 牵引维修任务生成、维修资源调度、以及维修作业执行等, 并且通过运行过程中保障数据收集, 计算相关参数指标, 从而实现对装备维修作业体系能力评估的目的。

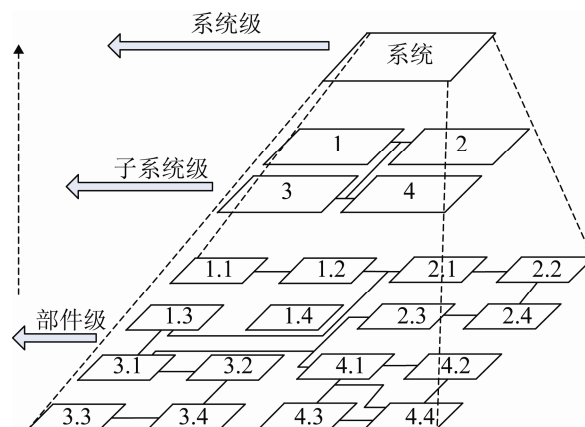


图 1 装备系统结构模型架构

Fig. 1 Structure model for equipment system

1.2 仿真模型需求分析

根据上述评估原理和仿真需求, 所设计的仿真评估系统通过装备保障环境、运行过程、保障活动以及结果进行建模、推演和分析, 目的是解决不同任务分配模式下、不同维修作业体制下以及维修保障力量配置下的部队维修保障能力评估问题。根据上述仿真要求, 所设计保障模型体系如图 2 所示。

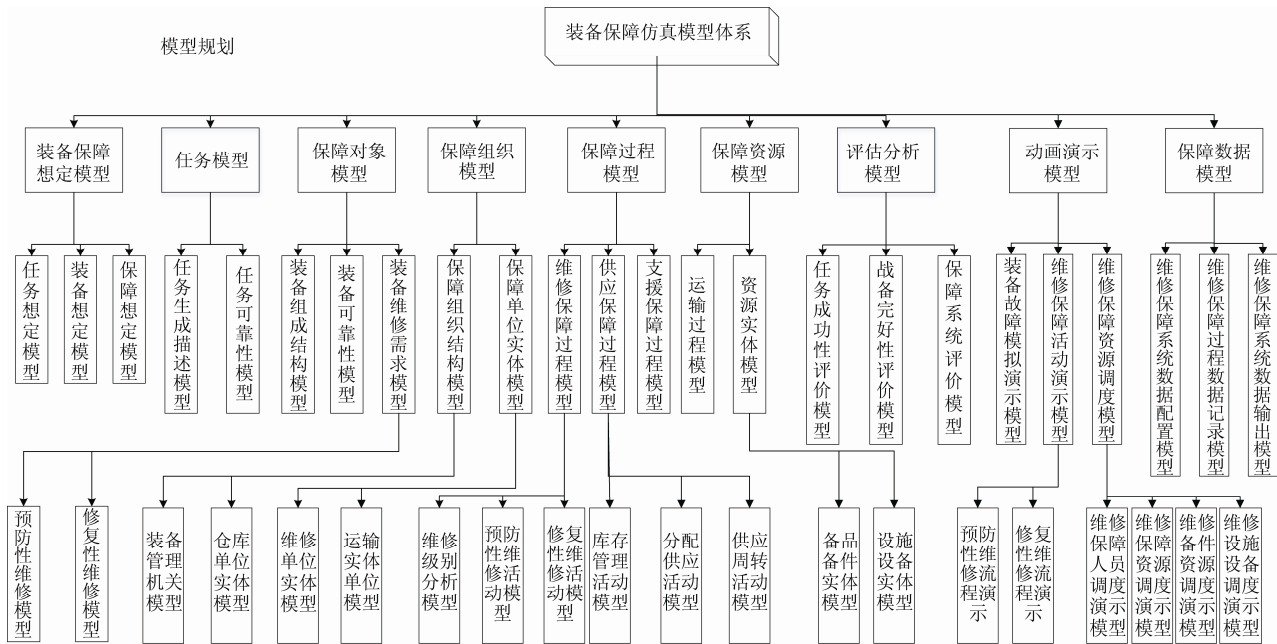


图 2 装备维修作业体系仿真模型规划

Fig. 2 Simulation model planning of equipment maintenance work system

(1) 装备保障想定模型

保障想定模型即仿真想定,主要用于描述仿真问题背景,限定仿真边界和约束。在仿真运行前确定仿真输入类型、取值范围以及运行关系,具体包括任务计划、部队装备编成、维修作业规程、保障资源初始配置等,用于仿真模型的全局控制和统筹。

(2) 任务模型

装备平时训练任务并非单一阶段,而是多层次、多阶段和逻辑性的,具有典型多阶段任务特点。因而,在构建装备训练任务模型时,需考虑不同任务阶段中功能需求、装备系统组成、运行关系之间的联系,在此基础上构建系统可靠性模型,准确描述装备运行过程中的可靠性状态的变化和故障模式,从而触发故障事件,牵引维修保障系统运行。

(3) 保障对象模型

保障对象通常是指部队装备实体,除了要明确装备自身 RMS 设计参数,还需包括关键系统指标。通过将装备故障事件的生成是由某一具体为系统组件、零部件,从而能够准确指向维修资源的需求,需要说明的是,本文所述的故障主要是平时训练任务导致,并不涉及战损故障。

(4) 保障组织模型

该模型取决于仿真对象,即部队维修保障机构编制组成,如维修设施、设备以及器材仓储的实际配置,维修组织的实际安排,维修人员的数量、技术等级和训练水平,以及它们之间的运行关系等等,通常结合具体部队实例确定初始配置数据。

(5) 保障过程模型

保障运行过程模型是指当触发维修事件时,包括预防性维修和修复性维修,维修保障系统所做出的全部响应活动。具体包括:各级预防性维修流程,换件维修、原件修复,以及抢救抢修等,此外还涉及维修机构之间资源调度和使用,故障装备运输、送修和返场等。

(6) 保障资源模型

保障资源模型包括备件、维修人员、设备、运输工具等,仿真运行过程中常常会因资源的竞争关系出现排队队列,在构建其模型还需考虑各维修等级之间的器材请领和调拨关系。

(7) 评估分析模型

根据维修保障作业能力评估需求,确定评估指标,明确指标计算关系,并以此作为评价作业能力水平高低的依据。

(8) 动画演示模型

实施动态展示保障运行过程, 提供动画演示效果, 主要包括: 装备任务过程运行效果展示, 装备维修过程动画演示以及保障资源调度周转演示。

(9) 保障数据模型

提供仿真系统数据载入配置接口, 仿真运行过程数据采集接口以及运行结果数据收集接口, 为后续评估与优化提供数据支撑。

2 维修任务生成模型

从装备的系统功能和系统结构出发, 通过模型结构分解, 建立起系统功能层级与系统结构底层元素的关联关系, 可以动态反映典型任务对装备系统需求、部件故障对系统功能的影响, 建立起能够准确描述系统任务需求、装备结构组成、维修保障需求三者之间交互关系模型。仿真系统中装备实体模型采用多 Agent 建模技术进行构造。分析部件单元可靠性, 组成结构以及任务关联信息, 通过模型封装聚合为系统级单元, 重复上述步骤完成装备实体模型的构建, 具体过程如图 3 所示。

在仿真系统运行过程中, 装备实体将随着仿真时钟的迭代推进, 自动执行步进算法: 检查装备实体维修时钟, 判断是否到维修时间, 如果为真, 则修改装备状态为故障状态; 执行维修事件分配算法, 判断系统哪一系统单元出现故障, 以此类推, 确定故障单元, 并触发故障事件处理过程。需要说明的是, 由于装备任务过程的多阶段

性, 期间可能表现为多种故障失效模式, 如图 4 所示, 此时需借助离散事件仿真过程确定故障单元, 具体算法为:

step 1: 初始化 $m=0$; N =装备系统部件或组件数;
step 2: 产生 n 个 $(0,1)$ 均匀随机数 $\{\xi_i, i=1,2,\dots,n\}$;
step 3: 仿真各部件的工作时间 $\tau_i=F_i^{-1}(\xi_i), i=1,2,\dots,n$;

step 4: 对 $\{\tau_i\}$ 由小到大排序, 得到时间序列 Γ :
 $0 \leq \tau_1 \leq \tau_2 \leq \dots \leq \tau_n$;

step 5: 仿真时间 t 按序列 Γ 的顺序分 n 步推进;

step 6: 记录本次仿真中装备系统工作时间 $T_m=t$, 导致系统失效的关键部件(组件), 故障次数记为 $F(t_r)$;

step 7: 进入下一推进时钟, 重复步骤 step 1~7。

根据本文选定的仿真策略, 首先配置装备初始可靠性、维修性和保障性基本参数, 通过装备模型封装完成装备实体模型构建, 结合装备动用任务计划牵引, 动态记录装备摩托小时使用数据, 据此判断装备预防性维修状态; 其次通过任务过程装备系统模型分解, 实现对装备任务过程中的故障状态判断。从而以各类维修事件牵引后续保障系统运行, 调度相关维修保障模块运行, 通过具体维修流程的模拟, 准确刻画具体工序的工作时间、人员和资源需求等, 并将相关运行数据送至数据统计分析模块, 为维修作业能力评估指标计算提供基础输入, 仿真系统运行原理如图 5 所示。

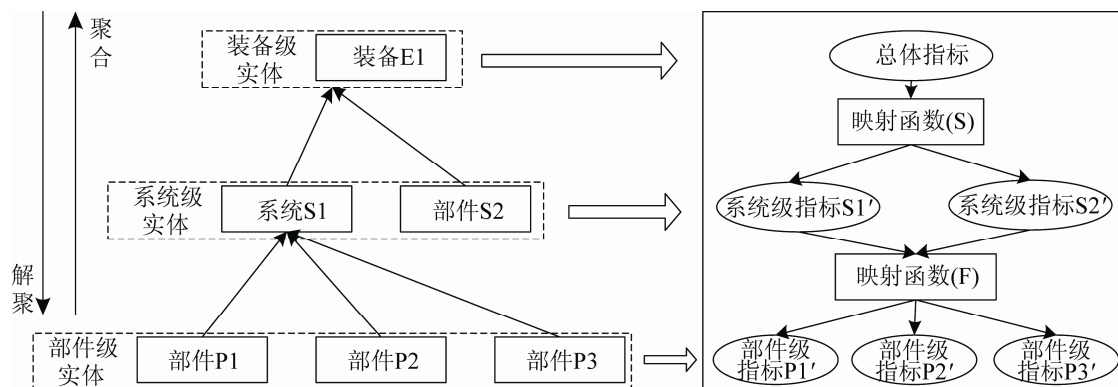


图 3 装备实体模型设计原理

Fig. 3 Preventive maintenance task generation model

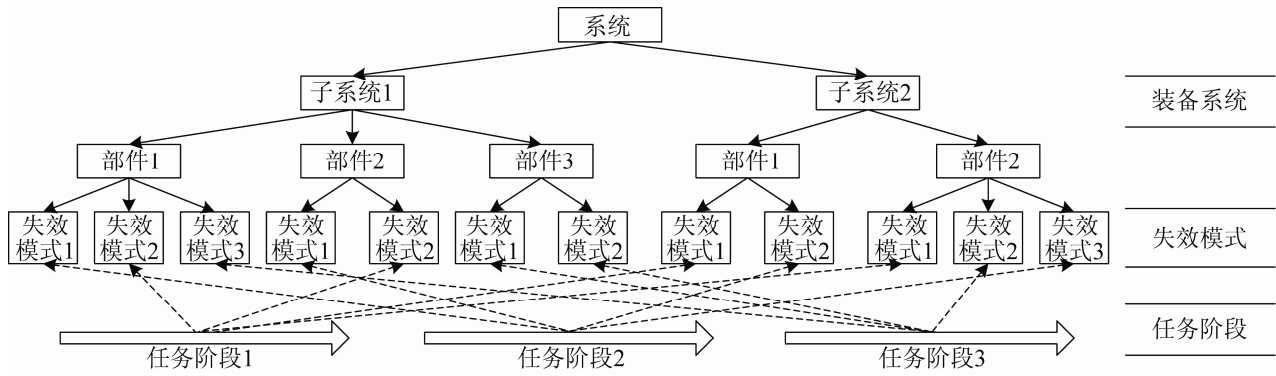


图 4 装备任务期间系统故障生成
Fig. 4 System fault generation during equipment mission

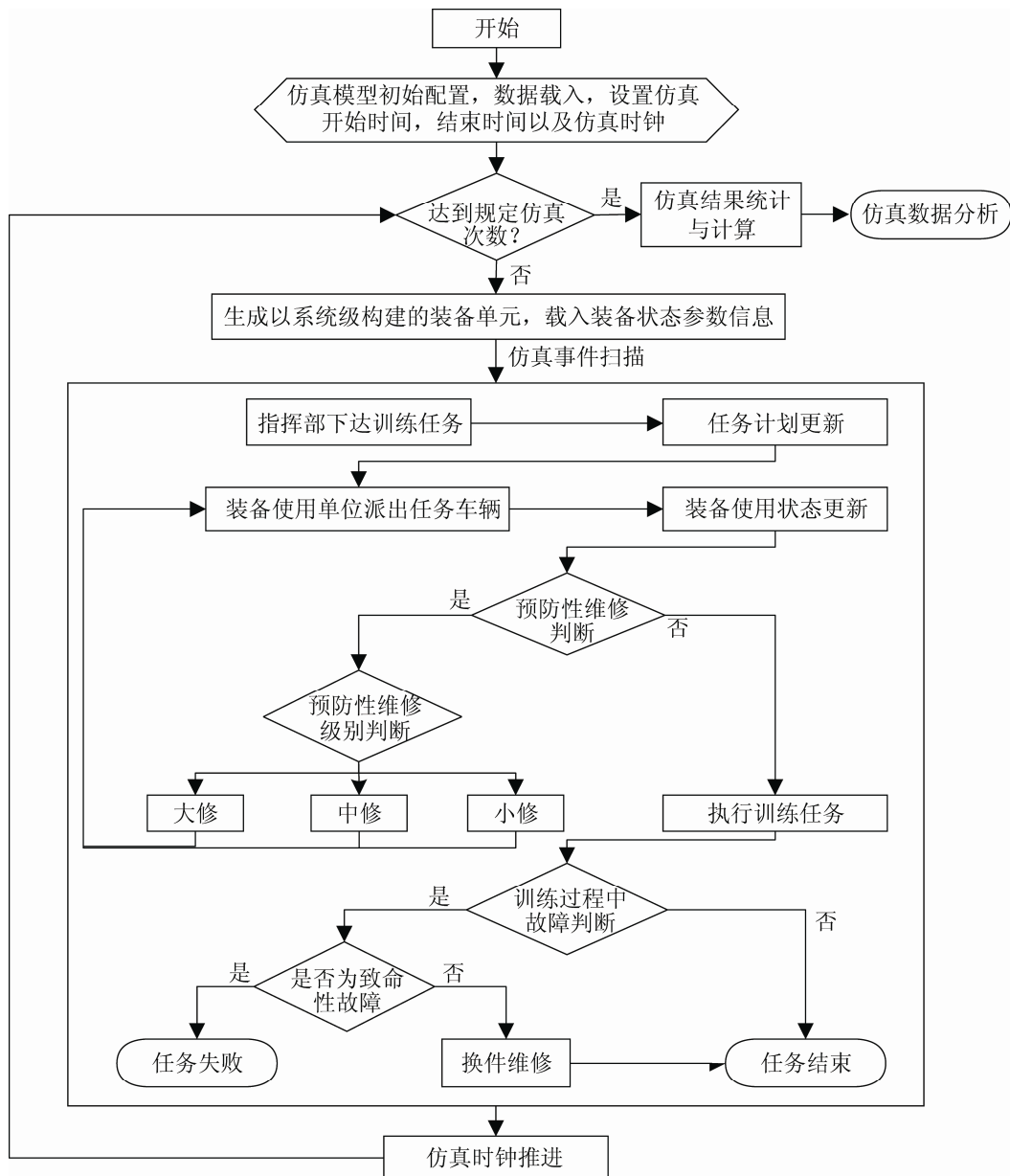


图 5 仿真系统运行原理
Fig. 5 Simulation operation principle of system

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

3 维修保障系统模型

本文设计的维修保障系统仿真评估模块组成包括: 仿真主程序控制模块, 故障事件处理模块, 维修执行模块、修复处理模块以及可靠性仿真运行中瞬时指标计算模块, 如图 6~10 所示。其中, 仿真模型主模块主要是确定仿真推进机制, 采用基于时间和事件的交互进程模式, 其中时钟推进主要用于系统故障发生时刻的确定, 而事件调度用于模拟系统状态的更新和交互, 并实现对系统模型不同模块的调用; 故障仿真模块模拟系统使用过程中可靠性变化规律, 确定系统及各部件故障时刻, 并向主程序提交相关故障数据信息; 修复流程模块主要用于系统及部件状态更新, 确定下一次故障时刻以及维修时间信息, 并与主程序交互发送至故障仿真模块; 瞬时指标计算模块主要是用于仿真系统运行中过程数据的统计和处理, 并提交主程序控制模块。图 6~10 仿真模型各符号定义见表 1。

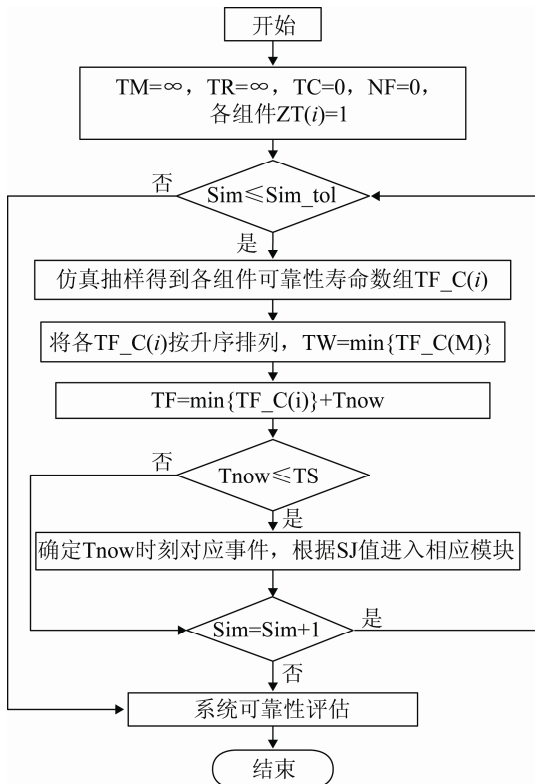


图 6 系统运行主程序

Fig. 6 Main program of system operation

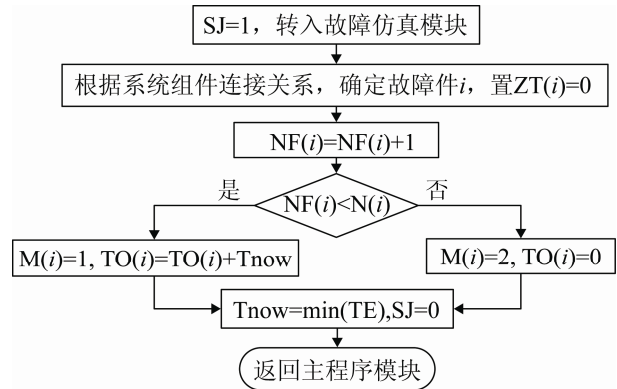


图 7 故障处理子模块

Fig. 7 Fault handling sub module

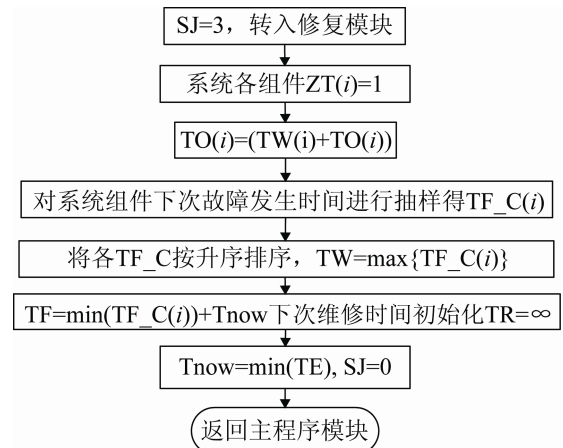


图 8 维修执行子模块

Fig. 8 Maintenance execution sub module

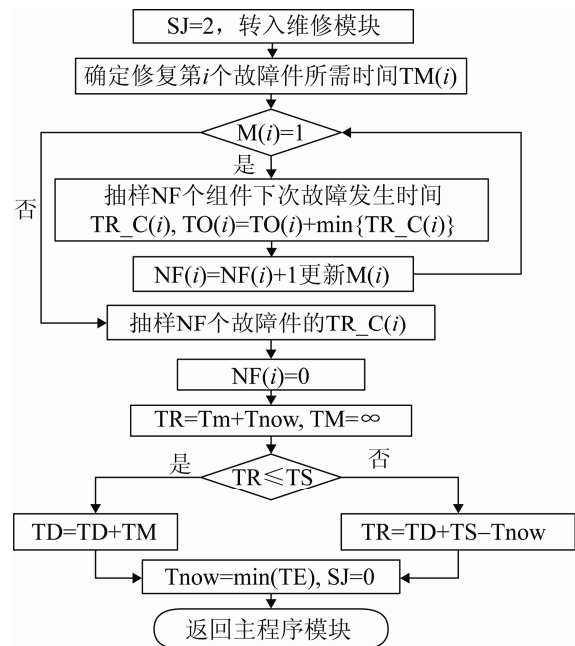


图 9 故障修复子模块

Fig. 9 Troubleshooting sub module

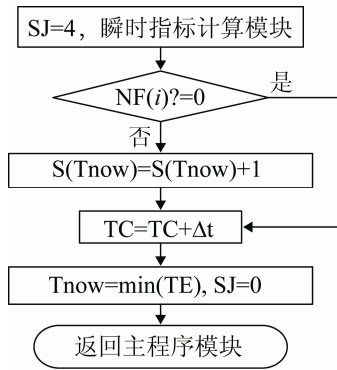


图 10 指标计算子模块

Fig. 10 Index calculation sub module

表 1 图 6~10 仿真模型各符号定义

Tab. 1 Definition of symbols of simulation model for Fig. 6~10

名称	说明
N	对象系统部件总数
N(i)	系统各部件需要进行更换规定的维修次数
M(i)	系统部件维修事件控制代码, 其中 M(i)=1 为非完美维修方式; M(i)=2 为完美维修方式, 即换件维修
Sim_tol	规定仿真运行总次数
Sim	已完成仿真运行次数, 令 Sim _{t=0} =0
NF	系统运行过程中部件故障数, 设定初始值为 0
TS	仿真设定时长
Tnow	当前仿真已运行次数, 令 Tnow _{t=0} =0
TF	仿真模拟中系统故障时刻
TM(i)	维修工作时间
TR	单次故障维修活动实际完成时刻
TE	仿真过程中各事件发生时刻的数组, TE=(TF, TM, TR, TC), TE(i)表示数组的第 i 个元素方法也代表相同含义。
TF_C	各部件故障时间抽样数组
TR_C	各部件维修工时数据抽样数组
TO	仿真各推进时刻各部件工作时长
TD	系统累计停工时间
TW	维修停机时系统已运行时长
Δt	仿真程序推进的固定步长
SJ	仿真运行中事件控制代码, 其中 SJ=1 代表故障时间, SJ=2 代表维修事件, SJ=3 代表修复事件, SJ=4 代表瞬时可靠性分析事件
ZT	各部件状态代码数组, ZT(i)=0 表示为系统第 i 个部件处于故障状态, ZT(i)=1 表示部件状态完好
NT	系统累计停机次数
S(t)	系统正常工作时间

4 维修保障资源模型

4.1 维修保障器材模型

根据装备维修器材保障流程^[14], 可构建如图 11 所示维修保障资源模型, 具体过程为: 若故障装备中某一可更换单元(零部件、组件或部件)出现故障, 该单元将被隔离。首先在基层级对故障单元进行判断, 能够开展维修, 否则, 将故障装备上送至上级维修机构。假若故障装备可在本级维修且器材仓库存有换件单元, 对其换件维修并将故障件存入基层级器材仓库, 更新仓储数量。若该级器材仓库无换件单元, 则等待器材调拨, 直至满足换件维修条件。

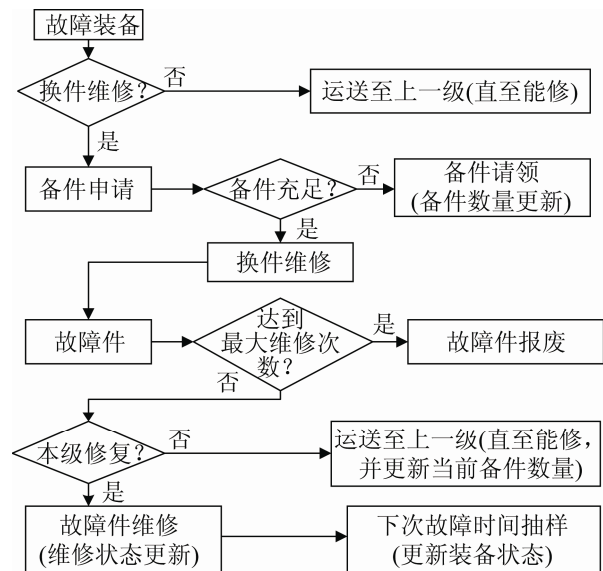


图 11 维修保障器材仿真流程

Fig. 11 Simulation process of maintenance support equipment

4.2 维修保障设备模型

当维修作业实施过程中需要用到某台维修设备时, 先对其空闲状态进行判断, 若空闲, 则使用相关设备开展维修工作, 并记录占用时间; 若无空闲设备, 该维修工序进入排队队列, 直到出现空闲维修设备, 并记录由此造成的保障延误时间。待该维修工序结束, 维修结束或者进入下个维修工序, 并更新装备维修状态, 如图 12 所示。

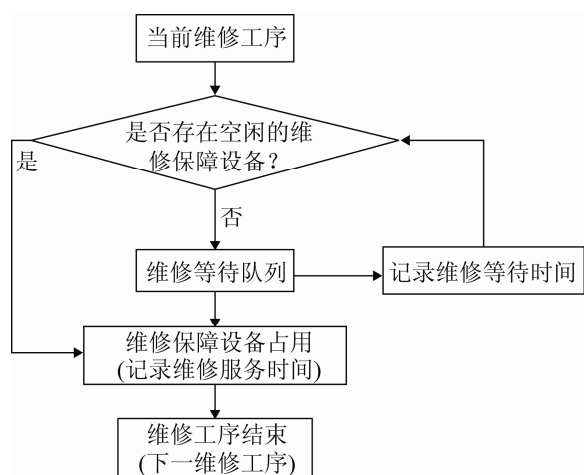


图 12 维修保障设备仿真流程

Fig. 12 Simulation process of maintenance equipment

5 结论

针对陆军典型部队维修作业能力仿真评估问题, 提出了仿真模型设计方案, 用以指导后续的仿真评估系统开发, 从而为部队维修任务分配、维修作业方式优化以及维修力量配备提出针对性改进措施, 为部队维修作业体制改革提供决策依据。

参考文献:

- [1] 张扬, 张涛, 张丽. 基于蒙特卡洛法的保障方案评估研究[J]. 测控技术, 2020, 39(3): 24-29.
Zhang Yang, Zhang Tao, Zhang Li. Study on evaluation of equipment support plan based on Monte Carlo method[J]. Measurement & Control Technology, 2020, 39(3): 24-29.
- [2] Koussaimi A, Bouami D, Elfezazi S. Improvement maintenance implementation based on downtime analysis approach[J]. Journal of Quality in Maintenance Engineering (S1355-2511), 2016, 22(4): 378-393.
- [3] 张会奇, 陈春良, 刘峻岩, 等. 装甲装备维修保障资源优化仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(1): 142-146.
Zhang Huiqi, Chen Chunliang, Liu Junyan, et al. Simulation research on armored equipment maintenance support resource optimization[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(1): 142-146.
- [4] 徐刚, 张磊, 贲永刚, 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, 2020, 32(6): 1103-1116.
Xu Gang, Zhang Lei, Yun Yonggang, et al. Simulation and Optimization of Support Resource Allocation for Multi-Aircraft Large Fleet Dispatch[J]. Journal of

- System Simulation, 2020, 32(6): 1103-1116.
- [5] Mancini A, Cesetti A, Iuale A, et al. A framework for simulation and testing of UAVs in cooperative scenarios[J]. J Intell Robot Syst (S0921-0296), 2009, 54(1/2/3): 307-329.
- [6] José Villé-A. RESTRAT simulation of non-Markov consecutive-k-out-of-n F: repairable systems[J]. Reliability Engineering and System Safety (S0951-8320), 2010, 95(3): 247-254.
- [7] Ke J C, Su Z L, Wang K H, et al. Simulation inferences for an availability system with general repair distribution and in perfect fault coverage[J]. Simulation Modeling Practice and Theory (S1569-190X), 2010, 18(3): 338-347.
- [8] Zio E, Podofillini L. Integrated optimization of system design and spares parts allocation by means of multi objective genetic algorithms and Monte-Carlo simulation[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part 0: J Risk and reliability (S0954-4062), 2007, 221(1): 67-84.
- [9] Valentin E C, Verbraeck A. Requirements for domain specific discrete event simulation environment[C]. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference Orlando Winter Simulation Conference. Orlando, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2005: 654-663.
- [10] Kootbally Z, Schlenoff C, Madhavan R. Performance Assessment of PRIDE in Manufacturing Environment[J]. ITEA Journal of Test and Evaluation (S0090-3973), 2010, 31(3): 410-416.
- [11] Scheidt C, Caers J, Chen Y G. A multi-resolution workflow to generate high-resolution models constrained to dynamic data[J]. Computational Geoscience (S1420-0597), 2011, 15(3): 545-563.
- [12] Reddy C K, Park J H. Multi-resolution boosting for classification and regression problems[J]. Knowledge and Information Systems (S0219-1377), 2011, 29(2): 435-456.
- [13] Meriçli Çetin, Veloso M, Akın H L. Multi-resolution Corrective Demonstration for Efficient Task Execution and Refinement [J]. International Journal of Social Robotics (S1875-4791), 2012, 4(4): 423-435.
- [14] 丁刚, 张琳, 崔利杰, 等. 基于任务的航空装备保障体系概念建模研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2020, 34(1): 39-46.
Ding Gang, Zhang Lin, Cui Lijie, et al. The support systems conceptual modeling of aviation equipment based on mission[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2020, 34(1): 39-46.