

6-1-2020

Design and Implementation for Maintenance Support Simulation System Based on Agent

Xing Biao

1. Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China; ;

Junhai Cao

1. Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China; ;

Tailiang Song

2. China Defense Science and Technology Information Center, Beijing 100072, China;

shouhua Chen

1. Academy of Armored Forces Engineering, 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.

Design and Implementation for Maintenance Support Simulation System Based on Agent

Abstract

Abstract: The agent based modeling and simulation method is an effective method in the field of complex systems and system of systems (SoS), *which is deficient in the connection relationship between the agent and the complex network method. According to the actual situation of the army equipment support, a simulation model of the maintenance support system for the equipment support system of systems based on the ABMS and complex network was established, which mainly included the overhaul maintenance, the medium maintenance, the minor repair and the examined and repaired as the special equipment support activity processes.* On the basis of the combination for the ABMS and complex network method, it is beneficial to grasp the operating rules of the equipment support and improve the equipment support capability.

Keywords

Agent based simulation, complex network, equipment support SoS, maintenance

Recommended Citation

Xing Biao, Cao Junhai, Song Tailiang, Chen shouhua. Design and Implementation for Maintenance Support Simulation System Based on Agent[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(1): 129-135.

基于 Agent 的维修保障仿真系统设计与实现

邢彪¹, 曹军海¹, 宋太亮², 陈守华¹

(1. 装甲兵工程学院, 北京 100072, 2. 中国国防科技信息中心, 北京 100072)

摘要: 基于 Agent 建模与仿真的方法是研究复杂系统和体系领域问题的有效方法, 针对该方法在表述各 Agent 实体关联关系方面的不足, 提出以 Agent 仿真方法为主并用复杂网络理论辅助描述各 Agent 实体的连接关系, 结合部队装备保障运行的实际情况, 重点以大修工艺、中修工艺、小修工艺和检修工艺等典型维修保障活动流程为基础, 构建了装备保障体系维修保障仿真系统模型。实践证明, 采用以 Agent 方法为主并辅以复杂网络理论的方法对于研究装备保障体系维修保障活动具备可行性和有效性。

关键词: Agent 仿真; 复杂网络; 装备保障体系; 维修;

中图分类号: TB114, TP391 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 01-0129-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201701018

Design and Implementation for Maintenance Support Simulation System Based on Agent

Xing Biao¹, Cao Junhai¹, Song Tailiang², Chen shouhua¹

(1. Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China;

2. China Defense Science and Technology Information Center, Beijing 100072, China)

Abstract: The agent based modeling and simulation method is an effective method in the field of complex systems and system of systems (SoS), which is deficient in the connection relationship between the agent and the complex network method. According to the actual situation of the army equipment support, a simulation model of the maintenance support system for the equipment support system of systems based on the ABMS and complex network was established, which mainly included the overhaul maintenance, the medium maintenance, the minor repair and the examined and repaired as the special equipment support activity processes. On the basis of the combination for the ABMS and complex network method, it is beneficial to grasp the operating rules of the equipment support and improve the equipment support capability.

Keywords: Agent based simulation; complex network; equipment support SoS; maintenance;

引言

随着信息化技术的不断发展及其在军事领域的广泛应用, 各种高新技术武器装备的保障能力正

日益成为制约我军战斗力发展的关键, 能否建成与武器装备体系相配套的装备保障体系, 并形成体系保障能力^[1], 是现阶段我军装备保障领域研究的重点与难点。

体系仿真的难点主要表现为: 体系环境的不确定性、体系边界的开放性以及体系中各主体之间交互产生的整体“涌现性”^[2-4]。国内徐玉国^[5]、韩震^[6]分别基于复杂网络(Complex Network, CN)构建了



收稿日期: 2016-01-05 修回日期: 2016-05-27;
基金项目: 军队计划科研项目;
作者简介: 邢彪(1988-), 男, 河北石家庄, 博士, 研究方向为装备保障仿真; 曹军海(1988-), 男, 陕西西安, 博士后, 副教授, 研究方向为装备保障仿真。

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

维修保障体系和维修保障力量体系的网络模型,是将保障实体抽象为网络中的节点,将实体间的连接关系抽象为边,易于评估网络模型的鲁棒性,但对体系的复杂构成和整体结构的描述还不够完善。徐廷学^[7]、杨军^[8]分别基于高级体系结构(High Level Architecture, HLA)设计了导弹装备维修保障仿真系统和基层级维修保障仿真系统,宏观把握了系统的整体结构,具有较强的开放性和互操作性,但系统中各实体缺乏自主适应性,难以描述体系的整体涌现性。

目前随着复杂适应系统理论 (Complex Adaptive System, CAS)以及人工生命技术在体系建模与仿真领域的广泛应用,基于 Agent 建模与仿真(Agent Based Modeling and Simulation, ABMS)已经成为了武器装备体系和装备保障体系的主要建模仿真方法^[9-12]。本文以 Agent 仿真方法为主并用复杂网络理论辅助描述各 Agent 实体的连接关系,目前已经申请了软件著作权(软著登字第 0988145 号),并以某集团军维修保障力量为研究对象进行了实例验证,具备较强的实用价值。

1 维修保障系统需求分析

装备保障体系,是指为了满足不同保障任务需求,由具有一定功能和相互联系的各级各类装备保障系统,按照装备保障规律和保障原则综合集成的有机整体,主要可分为保障指挥系统、维修保障系统和供应保障系统。其中维修保障系统需准确地模拟出装甲装备保障机构运行时的流程,指挥机关制定装备日常动用和训练计划,装备每次使用后都需进行日常保养;假定当消耗的摩托小时达到 125 时进行小修,由基层级维修机构进行;当消耗的摩托小时达到 250 时进行中修,由中继级维修机构进行;消耗的摩托小时达到 500 时进行大修,由基地级维修机构进行。器材仓库负责供应各类保障资源。同时要求设计的系统需具备普适性,适用于各种修理机构,易于操作使用,数据输出全面细致,运行稳定,安全可靠。软件界面简洁明朗,设计的

模块可以被替换,方便二次利用和开发。维修保障系统的具体运行流程如图 1 所示。

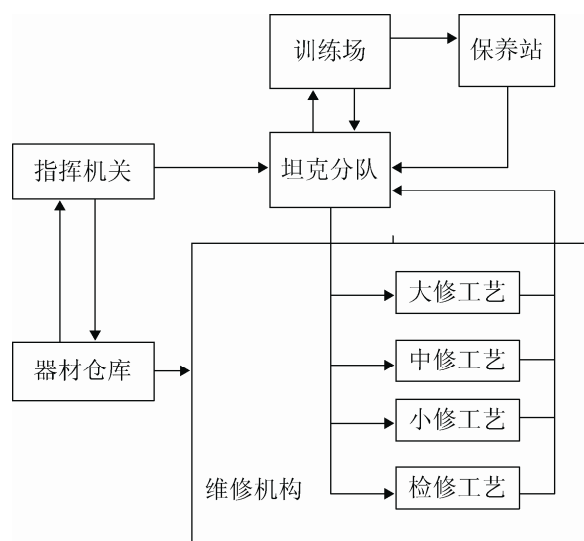


图 1 维修保障系统运行流程图

Fig.1 The operation flow of the maintenance support simulation system

2 基于 Agent 的维修保障系统设计

设计的装备保障体系维修保障仿真系统,用 Agent 描述各保障实体的智能行为,用复杂网络描述 Agent 实体间的交互关系,能够实现装备日常维修保障的虚拟仿真环境,整体地描述部队日常维修保障的运行过程,记录系统中每一个 Agent 实体所代表的保障单元的保障活动,为系统的整体评估提供试验与验证平台。

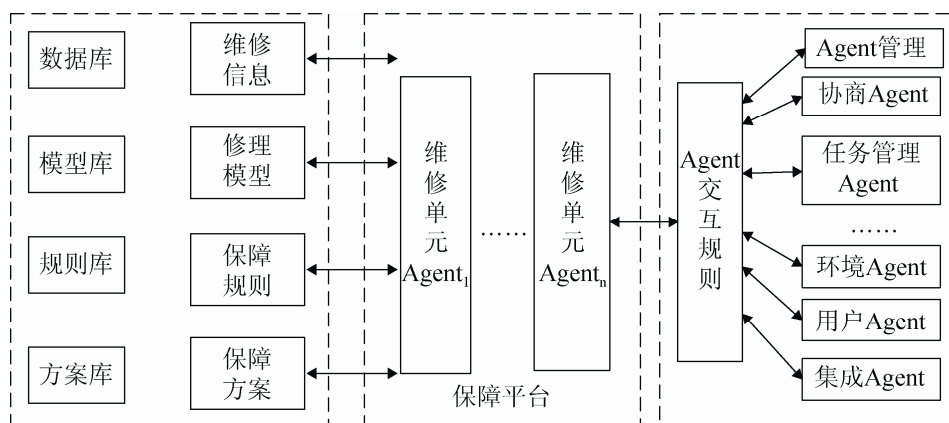
2.1 各 Agent 实体连接关系

装备保障体系维修保障仿真系统中的各保障实体 Agent 主要包括:零件,组件,备件,装备,保障装备,人员,车组,使用部(分)队,工具,资源,工作区,设施等。基于复杂网络理论,装备保障体系维修保障仿真系统可看作是以各 Agent 实体为节点、以各 Agent 之间的信息传递为边构成的复杂网络结构。系统中各 Agent 间基于复杂网络的连接关系主要有:

(1) 静态隶属。在维修网络中存在各级指挥机构和维修分队,上下级之间的 Agent 具备明显的层

(3) 择优连接。当各 Agent 实体根据自身特性和任务重要程度等影响因素进行动态交互时, 会模拟择优连接以实现最小消耗来最大限度完成保障任务。这也很好地应用了 Agent 实体的智能特性, 使得模型系统逼近于真实情况。

装备保障体系维修保障系统具有复杂系统的一般特性,采用多 Agent 仿真的方法首先应对目标系统进行复杂性分析,明确仿真的目标与要求;其次分析系统的边界、定义评价机制和方法;最后分析系统中各实体的具体特征和系统包含的典型流程,根据实体特征确定对象 Agent 的表达方法。设计的维修保障系统主要包含了数据库、模型库、规则库和方案库等,通过对维修保障活动的具体分析,确定 Agent 的交互规则,维修保障系统结构框架具体如图 2 所示。



(1) Agent 自主行为模型: $\langle T, \text{LocalMsg}, \text{LocalCon} \rangle$, 其中 T 为时间集合; LocalMsg 为与自主行为有关的消息集合; LocalCon 为局部约束规则集合, 是对 LocalMsg 消息执行顺序的描述。

Agent 既是相互独立的又是相互依赖的, Agent 交互不同于 Agent 之间的消息传递或通信, Agent 之间通信与交互示意图具体如图 3 所示。图 3(c) 描述了两个 Agent 在进行通信, 接收方 Agent 有响应, 但发送方 Agent 尚未接收到相应的消息, 因此并没有进行交互。可见 Agent 交互是双向的通信行为, 交互不仅要把消息发送出去, 而且要所传递的消息被接收方收到。

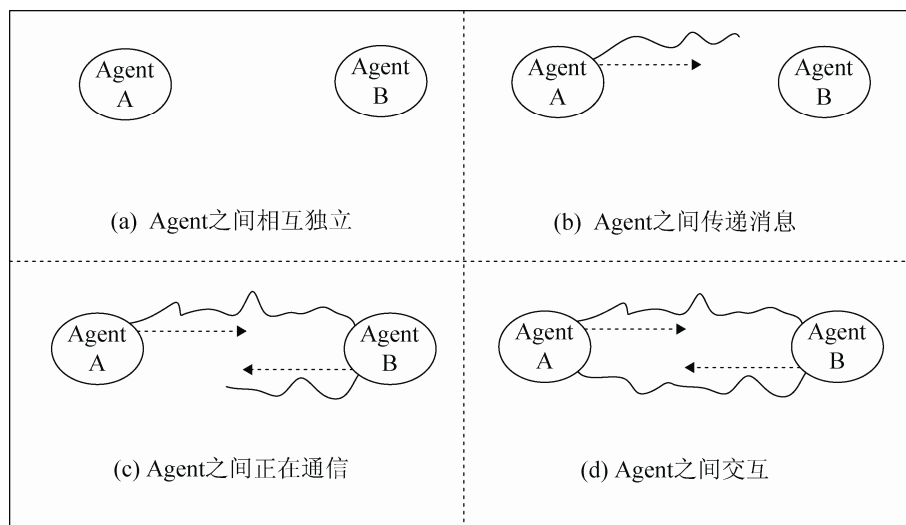


图3 Agent之间通信与交互示意图
Fig.3 The communication and interaction among the agents

2.3 维修保障系统功能设计

装备保障体系维修保障系统的主要功能和技术特点如下:

(1) 可以实现对大修工艺流程的仿真: 对装备的动力装置、传动装置、操纵装置、行动装置、烟幕装置和排水装置、车体以及其他部分的维修过程进行仿真, 真实反映大修流程中所需要的人员、工具、器材以及各个工序所需要的时间。

(2) 可以实现对中修工艺流程的仿真: 对中修工艺中的底盘和上装维修流程进行仿真, 采用三角函数记录的方法, 记录中修过程中每个工步最少需要的时间、最可能需要的时间以及最多需要的时间。对接车、拆卸、分解清洗、鉴定配料、总安装、吊装炮塔、部件组合、初安装、行驶试车、回修保养、交车等中修修流程工序所需要的人员资源、工具设施资源、以及工时进行记录, 仿真中修工艺流程。

(3) 可以实现对小修工艺流程的仿真: 完成单个小修车位的维修工艺流程后, 可以对多台坦克在不同的车位同时进行小修作业的情况进行仿真。系统中最多能够同时对六台装备进行维修, 装备修理完成后, 送回使用分队, 下一台排队等候的待修装备占用空闲车位进行维修。

(4) 可以实现装备故障后检修的仿真: 当装备

使用后返回车场时进行使用后保养, 同时能够模拟装备随机发生故障后, 使用分队将损坏装备送往维修机构, 维修机构进行修复性维修。

(5) 可以实现和使用分队、车场、器材供应机构等其他装备保障体系中的保障机构联调对接。

(6) 能够对维修机构保障能力进行评估, 评估指标包括: 装甲装备维修总工时, 消耗的人员数量, 使用的工具数量以及设施数量。

装备保障体系维修保障系统对象模型如图 4 所示。

2.4 系统流程设计

设计的装备保障体系维修保障系统共包含有 4 大流程模块和 63 个工序模块。其中流程模块主要包括大修工艺流程模块、中修工艺流程模块、小修工艺流程模块和故障后检修流程模块。工序模块包括以上 4 大流程模块中的各个工序, 例如拆吊发动机、拆卸启动电机、拆吊变速箱、拆吊传动箱、拆卸制动带、拆卸行星转向机、拆卸侧减速器主动部分、主离合器分解清洗鉴定、更换底盘故障零部件、断履带、拆卸主动轮、拆卸诱导轮、拆卸操纵台和后座、拆卸抛壳机等 63 个工序模块。以装备中修工艺流程模块为例, 其仿真模型如图 5 所示。

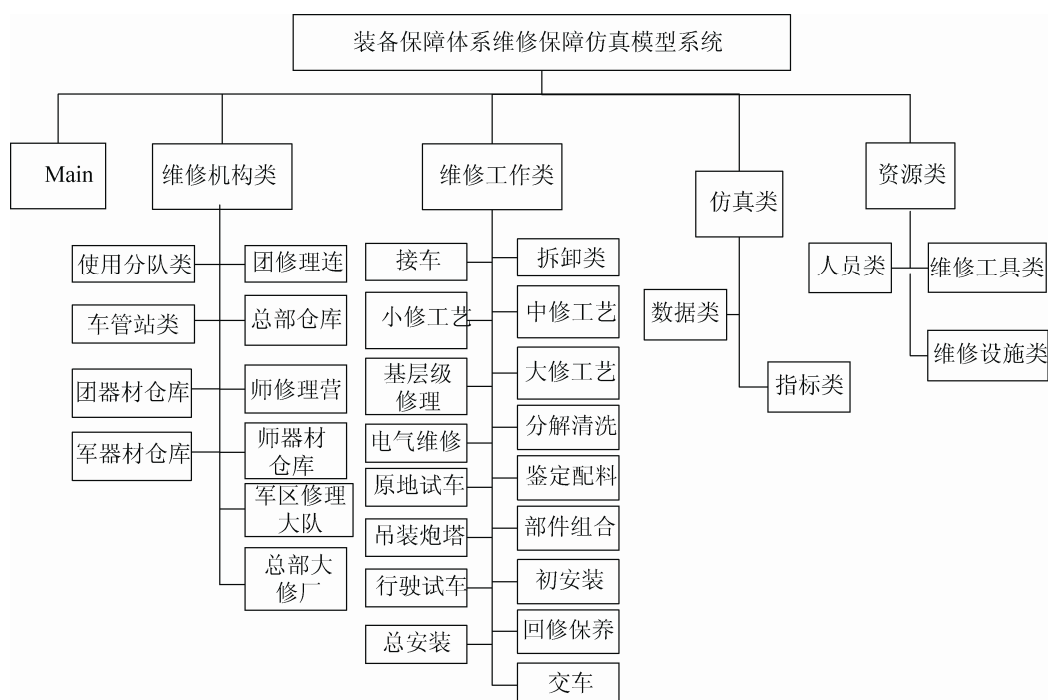


图 4 维修保障系统对象模型体系

Fig.4 The object model systems of the maintenance support simulation system

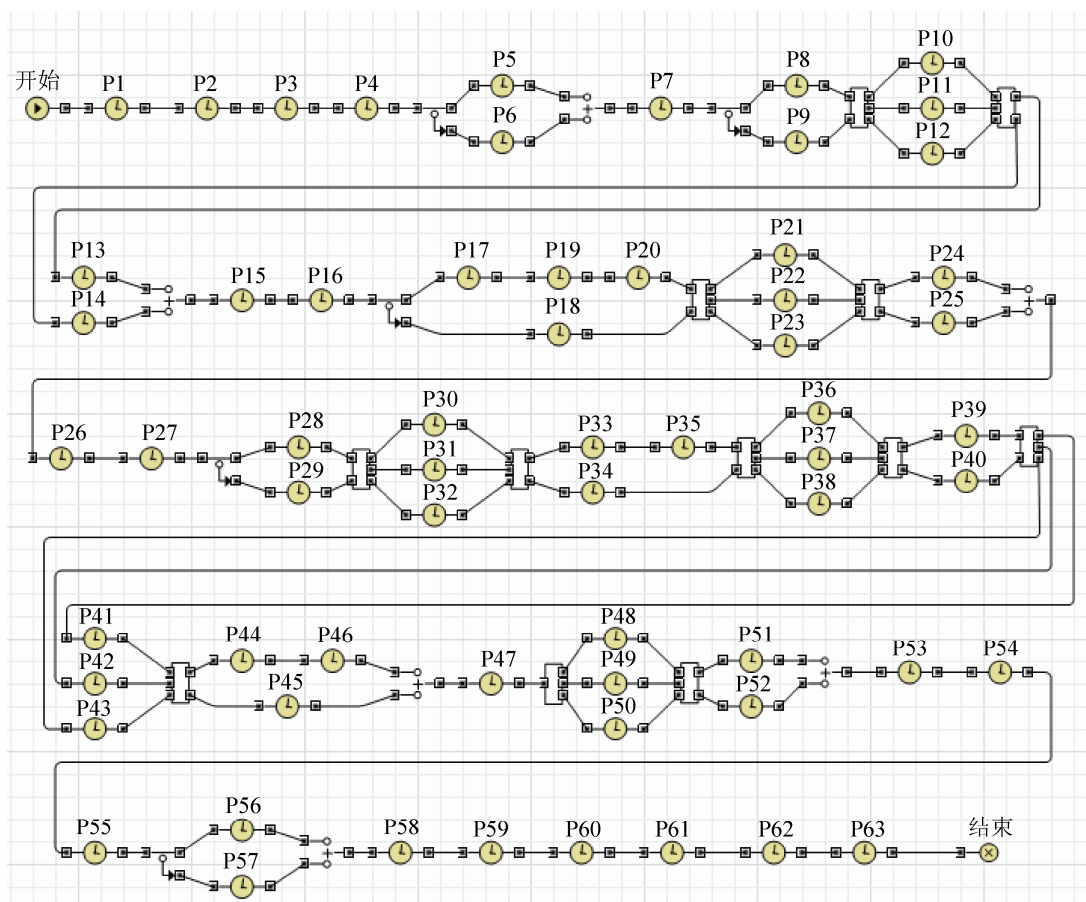


图 5 维修保障仿真系统中修工艺流程

Fig.5 The medium maintenance process of the maintenance support simulation system

3 仿真实例验证

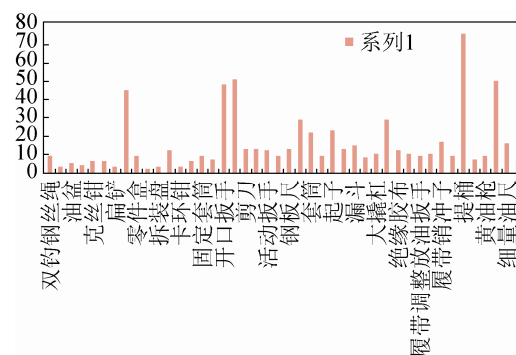
以某集团军维修保障力量为研究对象,将其一年的装备实际使用参数输入维修保障仿真系统,系统中初始状态时装备在训练场中训练,仿真产生随机故障,车管站结合大、中、小、检修的标准判断这些坦克需要哪种维修,之后输送至修理机构,维修机构在六个车位进行修理工作,超过六台则需排队等待。在修理工作开始之前,修理机构必须先向器材机构请领器材清单,器材机构备齐器材后把器材交给修理机构,方可开始进行修理作业。每台坦克完成修理流程后,返回训练分队,如此循环往复,就形成了维修机构的运行流程的仿真模型。

以中修工艺流程为例,经过 8 640 h 的仿真运行,得到中修工艺流程的工时数据、维修工具使用数据、维修人员情况和维修设施使用数量如图 6 所示。此次仿真运行的结果显示:中修总工时为 366.432 h;中修底盘部分维修工时为 350.554 h;中修上装部分维修工时为 319.063 h。

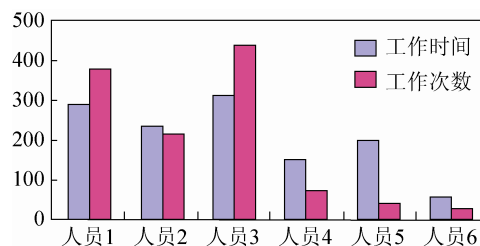
从图 6(a)维修工具使用数量柱状图中可以得出使用最频繁的工具类型,其中主要包括开口套筒、开口扳手、梅花扳手、提桶、老虎钳等。从图 6(b)维修人员情况统计图中可知六人维修小组在中修工作中工作的时间和参加的工序数量,其中人员 1 和人员 3 工作时间最长、参与的工序数量最多。从图 6(c)维修设施使用数量柱状图可知修理机构所使用最频繁的维修设施是装甲车辆传动装置综合试验设备、装甲车辆排水泵试验设备、装甲车辆火炮反后坐装置综合试验设备、装甲装备履带液力调整器,所以这些设施在日常要做好维护保养工作,确保维修工作时正常使用。

根据中修工艺流程的具体工作步骤,采用 Anylogic 仿真软件,对部分工序进行优化组合,在流程规定先后顺序的情况下对可同时操作的工序采用并行连接,计算并行工序的时间 T 时取最大值。对仿真运行后所产生的 421.334 万个中修工序流程时间的抽样值进行统计分析,根据这些数据生

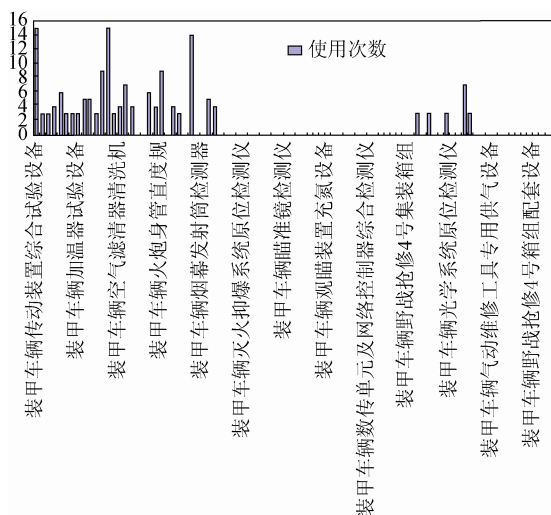
成中修工艺流程时间的概率密度函数,确定中修时间的取值区间、均值等。得到该型主战坦克的中修时间约为 6 307.01 min,约 105 h,而实际的中修时间为 15 个工作日 120 h。可见,对部分工序采用简单的并行操作,做到了维修总时间减小了 15 h。从统计分析的结果也可以较为明显地看出,虽然各个中修工序的随机分布为三角分布,但该坦克的中修总时间的随机分布较为明显地体现为正态分布。



(a) 维修工具 (The maintenance tools)



(b) 维修人员 (The maintenance person)



(c) 维修设施 (The maintenance facilities)

图6 维修保障系统中修仿真数据统计图

Fig.6 The simulation data statistics of the maintenance support simulation system

最后, 仿真系统直观的描述了某集团军在不同维修保障任务下的大修工艺流程、中修工艺流程、小修工艺流程和检修工艺流程的仿真, 并能够以产生的仿真数据为基础对维修机构的保障能力进行评估, 但对评估数据的综合权衡及分析和对仿真细节要求, 仍需进一步完善。以下两方面需予以改进:

(1) 指挥管理仿真: 在实际维修工作运行过程中, 管理活动及相关的规章、制度对保障活动影响是不能全部忽略的, 如何将上述定性要求合理转化定量参数影响, 需要进一步研究。

(2) 保障延误仿真: 装备保障平均延误时间(MLDT)是指装备在规定的保障条件下, 系统等待保障活动的平均时间, 主要包括平均等待外界帮助的延误时间(MDTOA)、平均获取文件资料延误时间(MDTD)、平均缺乏训练的延误时间(MDTT)、平均申请反应时间(MRRT)、平均供应反应时间(MSRT)。对现实过程中造成保障延误的随机事件如何进行准确的仿真描述需要进一步研究。

4 结论

本文以 Agent 仿真方法为主并用复杂网络理论辅助描述各 Agent 实体的交互关系, 构建了装备保障体系维修保障仿真系统, 重点对大修工艺、中修工艺、小修工艺和检修工艺等典型维修保障活动流程进行了仿真。通过对案例的仿真结果进行分析, 证明多 Agent 仿真方法是一种可行、有效的研究装备维修保障效能评估的方法。下一步, 可在平时维修保障的基础上对战时的维修保障活动进行仿真, 考虑维修人员和装备的战损情况, 为提高部队整体的装备保障能力提供可行的方法和建议。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 2015 年中国国防白皮书 [Z]. 北京: 新华社, 2015. (Information Office of the State Council of the People's Republic of China. China's Defense White Paper 2015 [Z]. Beijing, China: Xinhua News Agency, 2015.)
- [2] Mo Jamshidi. System of Systems Engineering (Innovations for the 21st Century) [M]. USA: Wiley, 2013.
- [3] Larry B Rainey, Andreas Tolk. Modeling and simulation support for system of systems engineering application [M]. New Jersey, USA: Wiley, 2015.
- [4] Levent Yilmaz. Concepts and Methodologies for Modeling and simulation [M]. Berlin, Germany: Springer, 2015.
- [5] 徐玉国, 邱静, 刘冠军. 基于复杂网络的装备维修保障协同效能优化设计 [J]. 兵工学报, 2012, 33(2): 244-251. (Xu Yugu, Qiu Jing, Liu GuanJun. Optimization Design on Cooperation Effectiveness of Equipment Maintenance Support Network Based on Complex Network [J]. Acta Armamentarii, 2013, 33(2): 244-251.)
- [6] 韩震, 卢昱, 古平, 等. 基于复杂网络的维修保障力量体系建模方法 [J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(9): 31-39. (Han Zhen, Lu Yu, Gu Ping, et al. Research on Maintenance Support Force System Modeling Based on Complex Networks [J]. Fire Control & Command Control, 2014, 39(9): 31-39.)
- [7] 徐廷学, 赵建忠, 余仁波, 等. 基于 HLA 的导弹装备军民一体化维修保障仿真系统设计与实现 [J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(3): 802-808. (Xu Tingxue, Zhao Jianzhong, Yu Renbo, et al. Design and implementation of missile equipment martial and local integration maintenance support simulation system based on HLA [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2013, 33(3): 802-808.)
- [8] 杨军, 于永利, 张彦忠, 等. 基于 HLA/RTI 的维修保障仿真系统及态势显示实现 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(21): 4908-4912. (Yang Jun, Yu Yongli, Zhang Yanzhong, et al. Implementation of Maintenance Support Simulation System and Its Situation Display Based on HLA/RTI [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2007, 19(21): 4908-4912.)
- [9] 廖守亿, 王仕成, 张金生. 复杂系统基于 Agent 的建模与仿真 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2015. (Liao Shouyi, Wang Shicheng, Zhang Jinsheng. Agent-Based Modeling and Simulation for Complex Systems [M]. Beijing, China: National Defense Industry Press, 2015.)
- [10] 郭霖瀚, 章文晋, 康锐. 导弹武器系统维修保障建模与仿真 [J]. 兵工学报, 2006, 27(5): 851-856. (Guo Linhan, Zhang Wenjin, Kang Rui. Maintenance Support Modeling and Simulating Technology for Missile Weapon System [J]. Acta Armamentarii, 2006, 27(5): 851-856.)
- [11] 孙明, 王精业. 装备维修保障仿真中装备毁伤分析模型研究 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 163-165. (Sun Ming, Wang Jingye. Research on Model for Equipment Damage Analysis in Equipment Maintainability Support Simulation [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2006, 18(2): 163-165.)
- [12] 刘伟, 贾希胜, 王广彦, 等. 多 Agent 仿真的装备维修保障效能评估系统设计与实现 [J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(1): 50-53. (Liu Wei, Jia Xisheng, Wang Guangyan, et al. Framework Design of Equipment Maintenance Support Effectiveness Assessment System Based on Multi-Agent Simulation [J]. Fire Control & Command Control, 2013, 38(1): 50-53.)