

基于 Arena 的通信装备备件保障流程建模与仿真

艾宝利, 武昌

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:通信装备备件保障系统的复杂性决定了运用建模仿真技术对其性能研究的适用性及有效性。针对两级备件保障体制下备件配置问题,在分析通信装备备件保障流程的基础上,以备件利用率及故障装备修复率为输出指标,利用 Arena 仿真软件建立了基于流程的通信装备备件保障系统仿真模型。通过仿真实例,分析了不同备件配置策略对备件利用率及故障装备修复率的影响规律,仿真结果验证了模型的有效性,同时也表明:相比传统建模方法,在描述备件保障过程中变量的随机特性及系统的动态行为方面,Arena 软件有显著的有效性和优越性。

关键词:备件保障系统;流程分析;备件利用率;Arena 仿真

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.05.017

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)05-0081-05

当前维修保障流程建模研究主要运用 Petri 网的方法,文献[1]运用着色 Petri 网理论建立了通信装备维修系统工作流程模型,文献[2]运用层次化时间着色 Petri 网建立了维修工作描述模型,给出了维修工作建模程序,文献[3]运用随机 Petri 网建立了装备维修保障系统模型,并通过马尔可夫链分析了维修过程中的动态特性。Petri 网主要是对确定性事件进行建模及分析,对维修保障过程中变量的随机概率分布缺乏有效的描述,与实际系统差距较大,且模型过于复杂,不利于验证;而 Arena^[4-8]软件结合了通用过程语言、专用语言及仿真器的特点,具有很强的易用性和灵活性,可以很好地描述系统的随机动态行为。本文以 Arena 为仿真平台^[9-10],建立了通信装备备件保障流程仿真模型,并结合仿真实例分析了不同备件配置策略对备件利用率及装备修复率的影响规律。

1 通信装备备件保障流程分析

通信装备采用两级维修及两级备件保障体制。保障流程为:通信装备产生故障后,由使用人员向基层修理所提出维修申请,基层维修人员到达后,首先进行故障模式分析,若本级可修,则查看基层仓库是否有所需备件,若有则进行换件维修,若无则向基地备件仓库提出申请,同时将本级无法维修的故障模块运往基地;基地负责满足基层的备件需求,并对基层送达的故障模块进行维修,对于达到报废标准的故障模块直接报废,对于有维修价值的故障模块进行故障定位,在本级备件仓库有备件时进行换件维修,若无备件,则或采用备件订购方式进行维修,或通过维修故障件方式进行维修。

2 通信装备备件保障流程仿真模型

2.1 维修保障系统顶层流程仿真模型

结合第一节对通信装备备件保障流程的分析,建立基于 Arena 的备件保障流程顶层仿真模型,见图 1。

* 收稿日期:2010-01-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60774091)

作者简介:艾宝利(1980-),男,辽宁锦州人,博士生,主要从事通信装备建模与评估研究;

E-mail: aibaoli_na@gmail.com

武昌(1944-),男,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事通信系统建模与评估研究

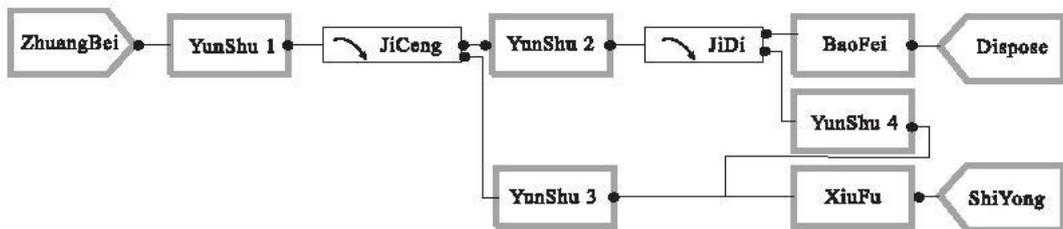


图1 通信装备备件保障流程顶层仿真模型

Fig.1 Top flow simulation model of spare part support system for communication equipments

模型通过 ZhuangBei 模块以指数分布产生故障装备,用于驱动仿真运行,产生的故障装备首先进入 JiCeng 子模型进行处理,经基层维修中心修复的装备运至 XiuFu 模块进行数据统计,未修复的装备进入 JiDi 子模型进行处理,并将修复、报废装备分别送至 XiuFu 模块、BaoFei 模块进行数据统计。Dispose、ShiYong 模块表示装备离开仿真系统。

2.2 基层维修中心流程仿真子模型

基层维修中心流程仿真子模型见图 2。

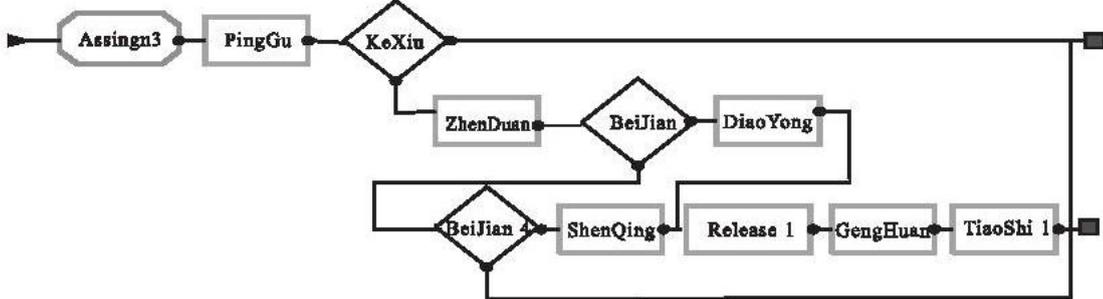


图2 基层维修中心流程仿真子模型

Fig.2 Flow simulation submodel of grass roots maintenance center

故障装备进入基层仿真子模型后,首先通过 PingGu 模块和 KeXiu 模块对故障装备进行分类,将属于本级维修的装备送到 ZhenDuan 模块,并通过 BeiJian 模块判断基层备件仓库是否有备件,有则通过 DiaoYong 模块,GengHuan 模块完成维修,同时占用 1 个基层备件,并通过 Release 1 模块释放基层维修人员,若无备件则通过 BeiJian 4 模块判断基地仓库是否有备件,有则通过 ShenQing 模块申请备件,同时占用 1 个基地备件,释放基层维修人员,最后对修复的装备经 TiaoShi 模块后送出,若基地无备件,则将故障装备送入基地维修中心处理。

2.3 基地维修中心流程仿真子模型

基地维修中心流程仿真子模型见图 3。

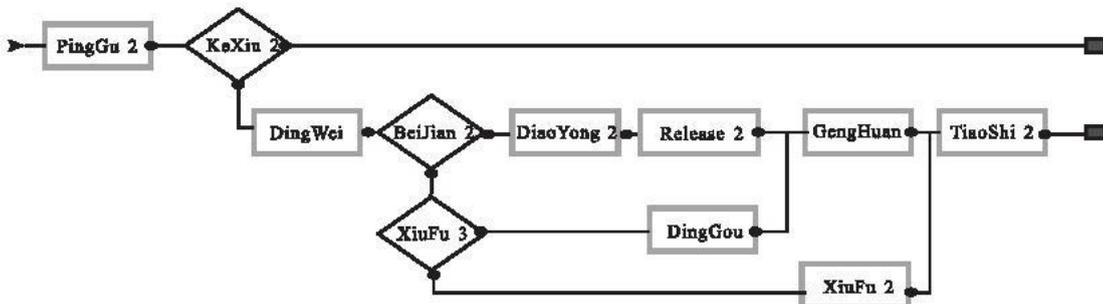


图3 基地维修中心流程仿真子模型

Fig.3 Flow simulation submodel of base maintenance center

故障装备进入基地仿真子模型后,首先通过 PingGu 2 模块和 KeXiu 2 模块判断是否有可修价值,无维修价值的装备作报废处理,有维修价值的装备进入 DingWei 模块,并通过 BeiJian 2 模块判断基地仓库是否有备件,有则通过 DiaoYong 2 及 GengHuan 模块进行维修,同时占用 1 个基地备件,并释放基地维修人员,无备件则通过 XiuFu 3 模块进行决策,或进行备件订购维修,或进行故障件维修,最后经 TiaoShi 2 模块将修复装

备送出。

3 仿真实例

3.1 仿真场景设置及输入数据

每个可修故障装备在相应维修级别维修时占用 1 个备件(有备件时)和 1 个本级维修人员,故障装备修复后只释放 1 个维修人员,占用备件表示备件的消耗。

仿真设置:模型设置 10 个仿真场景,每个场景仿真时间为 30 d,仿真 100 次。分 3 种情况考察备件利用率及装备修复率关系,即单独增加基层备件数量,每个场景增加 10 个;单独增加基地备件数量,每个场景增加 10 个;同时增加基层和基地备件数量,每个场景基层和基地备件各增加 10 个。初始备件配置:基层 180 个,基地 70 个。模型输入数据(单位:min):

顶层模型 故障装备产生:EXPO(120);运至基层:TRIA(5,7,9);运至基地 TRIA(20,35,45);基层返回 TRIA(5,7,9);基地返回 TRIA(25,42,64);

基层模型 故障评估:UNIF(6,10);故障诊断:UNIF(5,8);调用备件:TRIA(4,6,9);向基地申请:TRIA(30,45,55);更换:UNIF(3,5);装备调试:UNIF(4,7);

基地模型 故障评估:TRIA(4,7,10);故障定位:TRIA(18,25,45);备件调用:UNIF(10,25);更换备件:TRIA(3,5,7);故障件修复:TRIA(65,90,120);备件订购:TRIA(60,120,180);装备调试:UNIF(4,7)。

模型中:EXPO(Mean)为指数分布;UNIF(Min,Max)为均匀分布;TRIA(Min,Mode,Max)为三角分布。

3.2 模型输出统计量

模型输出统计量为:

$$\text{BeiJian LiYong} = (\text{ResSeizes}(\text{JiCeng BeiJian})/\text{MR}(\text{JiCeng BeiJian}) + \text{ResSeizes}(\text{JiDi BeiJian})/\text{MR}(\text{JiDi BeiJian}))/2$$

$$\text{XiuFu Lv} = \text{NC}(\text{XiuFu})/\text{EntitiesIn}(\text{GuZhang ZhuangBei})$$

式中:BeiJian LiYong 表示基层和基地备件的综合利用率;ResSeizes(·)表示某级备件实际使用数量;MR(·)表示某级备件的配置数量;XiuFu Lv 表示故障装备的修复率;NC(XiuFu)表示修复装备的数量;EntitiesIn(GuZhang ZhuangBei)表示进入维修保障系统的装备数量。

3.3 仿真结果分析

3.3.1 单独增加基层备件

仿真结果见表 1。

表 1 单独增加基层备件的仿真输出结果

Tab.1 Simulation result of adding grass roots spare part only

仿真场景	仿真次数	基层备件	基地备件	备件利用率	修复率
1	100	180	70	1.000	0.841
2	100	190	70	1.000	0.858
3	100	200	70	0.998	0.886
4	100	210	70	0.994	0.907
5	100	220	70	0.984	0.923
6	100	230	70	0.970	0.930
7	100	240	70	0.952	0.931
8	100	250	70	0.934	0.932
9	100	260	70	0.917	0.932
10	100	270	70	0.902	0.932

表 1 中,场景 1 和场景 2 的备件利用率为 1,场景 2 在场景 1 的基础上增加了 10 个基层备件,而修复率由 0.841 提高到 0.858,说明当前备件配置数量无法满足故障装备的维修需求。场景 3 到场景 7,随着基层备件数量的增加,备件利用率逐渐下降,修复率逐渐上升。当场景 8 到场景 10 再次增加基层备件数量时,备件利用率继续下降,而修复率却不再因备件数量的增加而继续上升,维持在 0.932,说明当前基层备件配置已达到饱和,无法再通过增加基层备件方式来提高故障装备修复率。

3.3.2 单独增加基地备件

仿真结果见表 2。

表2 单独增加基地备件的仿真输出结果

Tab.2 Simulation result of adding base spare part only

仿真场景	仿真次数	基层备件	基地备件	备件利用率	修复率	修复队列	申请数量
1	100	180	70	1.000	0.841	10.148	0.000
2	100	180	80	1.000	0.826	13.765	0.060
3	100	180	90	1.000	0.812	18.323	0.490
4	100	180	100	1.000	0.800	23.494	2.230
5	100	180	110	1.000	0.806	22.166	5.890
6	100	180	120	1.000	0.820	21.003	12.550
7	100	180	130	0.998	0.837	16.697	18.690
8	100	180	140	0.993	0.852	10.689	24.000
9	100	180	150	0.992	0.864	6.171	28.610
10	100	180	160	0.968	0.875	1.711	32.500

表2中,场景1到6备件利用率为1,而装备修复率在场景1至4中呈下降趋势,从场景5才开始上升。修复率下降是因为故障装备首先考虑换件维修,在无备件时,只能通过订购备件或维修故障件的方式进行维修,因而花费了更多的维修时间,由于备件更换过程中需要占用维修人员,尤其是在基地级维修人员有限时,未修复的故障装备会因维修人员的不足而等待更长的时间,因此造成修复装备数量的减少,从而使整体修复率有所下降。由此也说明备件配置不是修复率的唯一影响因素,其他资源如维修人员同样会影响装备的修复率。场景5修复率开始上升是因为装备故障有一定比例是必须在基地维修中心进行维修的,当基地备件配置较少而需要在基地维修的故障装备较多时,基地备件仓库几乎无法满足基层的备件需求,因此基层只能等待基地订购或将故障装备交付给基地进行处理。当基地备件数量增加到一定程度时,基地备件仓库开始能够满足部分基层备件申请,由于基层申请备件相对于等待订购或交付基地处理具有更高的维修效率,因此使得装备修复数量有所增加,从而提高了故障装备的修复率。

3.3.3 同时增加基层和基地备件

仿真结果见表3。

表3 同时增加基层和基地备件的仿真输出结果

Tab.3 Simulation result of adding grass roots and base spare part synchronously

仿真场景	仿真次数	基层备件	基地备件	备件利用率	修复率
1	100	180	70	1.000	0.841
2	100	190	80	0.999	0.852
3	100	200	90	0.999	0.869
4	100	210	100	0.993	0.874
5	100	220	110	0.981	0.877
6	100	230	120	0.955	0.884
7	100	240	130	0.904	0.886
8	100	250	140	0.854	0.887
9	100	260	150	0.809	0.887
10	100	270	160	0.769	0.887

表3中,备件利用率从场景1至场景10一直呈递减趋势,而故障装备修复率持续增加到场景7就保持在0.887不再增长,说明从场景7开始备件配置已达到饱和。

通过以上分析可发现,单独增加基层备件会达到最好的维修效果,在保持修复率0.9以上的前提下,备件利用率基本可以维持在0.9到1之间。而其他两种配置策略对于提高故障装备修复率效果不是很明显(基本维持在0.9以下)。

4 结束语

针对通信装备级维修保障下备件配置问题,本文以备件利用率及装备修复率为输出指标,利用Arena建立了通信装备备件保障流程仿真模型,通过仿真实例分析了不同备件配置策略对备件利用率及故障装备修复率的影响规律,从而为进一步优化各级维修机构的备件配置提供了依据。由于实际维修保障中涉及的备件种类、数量很多,因此下一步工作重点是从实际装备出发,针对维修所需的各类备件配置,对模型进行细化,使模型达到较好的实用性。

参考文献:

- [1] 齐胜利,武昌,杨懿,等. 基于着色 Petri 网理论的通信装备维修系统建模[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2005,6(3):37-41.
 QI Shengli, WU Chang, YANG Yi, et al. Modeling of Repair System of Communication Equipment Based on Colored Petri Net Theory[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2005,6(3):37-41. (in Chinese)
- [2] 马麟,吕川. Petri 网在维修工作分析中的应用研究[J]. 北京航空航天大学学报,2004,30(3):249-254.
 MA Lin, LÜ Chuan. Research on the Application of Petri Net to MTA[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004,30(3):249-254. (in Chinese)
- [3] 刘勇,武昌,陈校平. 随机 Petri 网对装备维修保障的建模与分析[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2007,8(2):43-45.
 LIU Yong, WU Chang, CHEN Xiaoping. Modeling and Analysis of Equipment Maintenance Support Based on Stochastic Petri Net[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007,8(2):43-45. (in Chinese)
- [4] Rockwell Software Inc. Arena User's Guide [M]. Milwaukee: Rockwell Software Inc,2005.
- [5] Kelton David W, Sadowski Randall P, Sturrock David T. Simulation with Arena [M]. New York: McGraw Hill, 2003.
- [6] Rockwell Software Inc. Arena OptQuest User's Guide [M]. Milwaukee: Rockwell Software Inc,2005.
- [7] Deborah Sadowski, Vivek Bapat. The Arena Product Family: Enterprise Modeling Solutions [C]//Proceedings of the Winter Simulation Conference. New Jersey: Simulation Conference, 1999: 163-169.
- [8] Rockwell Software Inc. Arena Basic Edition User's Guide[M]. Milwaukee: Rockwell Software Inc,2005.
- [9] 方绍强,卫克,陈伟鹏,等. 基于 ARENA 的 UML 建模及其在飞行保障中的应用[J]. 系统仿真学报,2008,20(11):3020-3023.
 FANG Shaoqiang, WEI Ke, CHEN Weipeng, et al. UML Modeling Based on Arena and Its Application in Flight Support Process[J]. Journal of System Simulation, 2008,20(11):3020-3023. (in Chinese)
- [10] 赵璐,金淳,于越. 可视化交互仿真软件 Arena 的最新进展[J]. 系统仿真技术,2006,2(3):176-181.
 ZHAO Lu, JIN Chun, YU Yue. Hot Development of Video Alternant Simulation Software Arena[J]. Technology of System Simulation, 2006,2(3):176-181. (in Chinese)

(编辑:徐敏)

Modeling and Simulation of Communication Equipments Spare Parts Support System Based on Arena

AI Bao-li, WU Chang

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Because of the complexity of the communication equipment spare part support system, the use of technique of modeling and simulation is applicable and effective in the study of the system performance. Aimed at the scheme of spare part under two-grade support system, based on the analysis of flow for communication equipment spare part support system and regarding the spare part utilization and restoring rate as indexes, the flow simulation model of spare part support system is built by Arena. The law affecting the spare part utilization rate and restoring rate under two-grade maintenance support by the connection spare part configuration policy is analyzed through example simulation, which verifies the effectiveness of the model. Simultaneously, in the course of analyzing and describing the stochastic characteristics of variable and the dynamic process of the system, Arena is more effective and superior than the traditional modeling methods.

Key words: spare part support system; flow analysis; spare part utilization rate; Arena simulation