

# 机动防空任务聚合级装备作战单元维修性仿真

封会娟, 于永利, 张 柳, 刘文武

(军械工程学院, 河北 石家庄 050003)

**摘 要:** 装备作战单元在执行任务过程中常处于聚合状态, 影响其作战效能的重要因素之一就是任务维修性。任务维修性的度量参数有多种, 文中采用恢复功能的任务时间(MTTRF), 在分析聚合级装备作战单元层次和特性的基础上, 剖析了聚合级装备作战单元 MTTRF 的具体含义; 给出了在机动防空任务下聚合级装备作战单元 MTTRF 的仿真方法和流程, 应用 Petri 网技术在 ExSpect 仿真环境下建立了聚合级装备作战单元机动防空任务下维修性的仿真模型, 实现了对聚合级装备作战单元各层 MTTRF 的仿真。最后, 通过一个实例对模型进行验证。

**关键词:** 聚合级装备作战单元; 任务维修性; 恢复功能的任务时间; 机动防空; Petri 网

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)11-0230-04

## Simulation Model of Aggregated Equipment Combat Units' Mission Maintainability Based on Mobile Aerial Defense Mission

FENG Hui-juan, YU Yong-li, ZHANG Liu, LIU Wen-wu

(Ordinance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** The equipment combat unit is usually in the aggregated state when operate mission, and the mission maintainability is an important factor for its operational effectiveness. There were kinds of parameter to measure the mission maintainability, and the parameter of Mission Time to Restore Function was adopted. Based on the analyses to the levels and the performance of the aggregated equipment combat units, the signification of aggregated equipment combat units' Mission Time to Restore Function was analyzed, the simulation method and simulation flow for the mobile aerial defense mission of aggregated equipment combat units was given, and then the simulation model with Petri-net and ExSpect was constructed. Finally, an example was used to prove the simulation model.

**Key words:** aggregated equipment combat units; mission maintainability; mission time to restore function; mobile aerial defense mission; Petri-net

### 0 引言

现代战争的主要趋势之一是多军兵种的联合作战, 作战双方往往出动多种作战力量实施多个角度的打击或防御, 以期取得战争的胜利。在这个过程中, 会产生从联军到单一军兵种到军师旅团营等多个层次的作战单元, 如何发挥各层作战单元的整体作战效能, 成为制约战争胜负的关键。随着现代高科技的突飞猛进, 武器装备的性能大幅提高, 是否持有高精尖的武器装备固然成为交战双方制胜的法宝。然而, 对于一个作战单元整体来说, 在实际执行作战或使用任务过程中, 不仅需要其拥有较高的任务可靠性, 更需要其拥有

良好的任务维修性, 也即需要作战单元能够在实际任务条件下迅速有效的恢复战斗力, 以保障任务的成功执行<sup>[1]</sup>。影响作战单元任务维修性的因素有多种, 包括作战单元所含武器装备的固有维修特性、作战单元中武器系统的任务可靠性逻辑关系和作战单元中保障系统的保障能力等等, 因此, 很难用解析的方法来计算或评价作战单元的任务维修性<sup>[2,3]</sup>。

文中探讨采用仿真的方法来计算联合作战各层聚合级装备作战单元在机动防空任务下的任务维修性。由于 Petri 网具有严密的数学定义和良好的图形表示, 可以形象地描述复杂系统的动态行为和常见的同步、并发、冲突、冲撞、资源共享等现象, 同时, 基于有色赋时 Petri 网开发的 ExSpect 仿真软件提供了适合于模型表述的语法规则和数据类型、数百种函数以及丰富的仿真组件, 且能有效地进行时间管理, 因此该文采用这种方法进行问题的研究<sup>[4~6]</sup>。

收稿日期: 2009-03-05; 修回日期: 2009-06-24

基金项目: 国防预研基金项目(51419060203JB3402)

作者简介: 封会娟(1980-), 女, 河北石家庄人, 博士研究生, 研究方向为维修工程理论与应用; 于永利, 教授, 博士生导师, 研究方向为综合保障理论与应用。

# 1 聚合级装备作战单元层次分析及其任务维修性参数剖析

## 1.1 聚合级装备作战单元的含义

作战单元是指部队建制中可以执行作战和训练任务的军事单位,装备作战单元则是指作战单元中的武器系统及其相应的保障系统,而聚合级装备作战单元则是从多分辨率的角度来看<sup>[7]</sup>,本级作战指挥员所能关心到的下级武器系统及其相应的保障系统。在联合作战过程中,由于参战双方均会动用多层作战力量,每层作战力量的作战指挥员所专注的视点不同,从而产生多分辨率的问题。例如,联军的作战指挥员所关心的只是各集团军装备作战单元作为一个整体的作战效能,而不去关心旅团级装备作战单元和营连级装备基本作战单元的作战效能,更不去关心单个装备的作战效能。因此,对于联军作战指挥员来说,各集团军装备作战单元是一个聚合的概念,也即这里所研究的聚合级装备作战单元。

## 1.2 聚合级装备作战单元的层次分析

在多军兵种联合作战中,作战力量的组织是分层次的,如联军-军-师-团-营-连等。对于联军作战指挥员来说,其所辖的作战力量除了直属单位外,则是以各军为主实施作战的,因此联军指挥员只关心每个军作为整体的作战情况;而对于军一级的作战指挥员来说,除了其所辖的直属力量外,则是以各个师为主实施作战的,因此军指挥员则关心每个师作为整体的作战情况;以此类推,直到最低层的营或连(也即基本作战单元),才有实际的作战装备和真正的作战能力。

由此可见,由最低层的各营连级装备基本作战单元的作战能力可以聚合产生团级的作战能力;而各个团聚合级装备作战单元的作战能力则可以聚合产生师级的作战能力;由此向上聚合,则可以得到联军一级的作战能力,而这才是联合作战指挥员所关心的。这种层层向上聚合的关系如图 1 所示。

## 1.3 任务维修性参数分析

维修性主要反映在维修时间上,缩短维修延续时间是装备维修性中最主要的目标,直接影响到装备的可用性和战备完好性。由于装备的功能、使用条件不

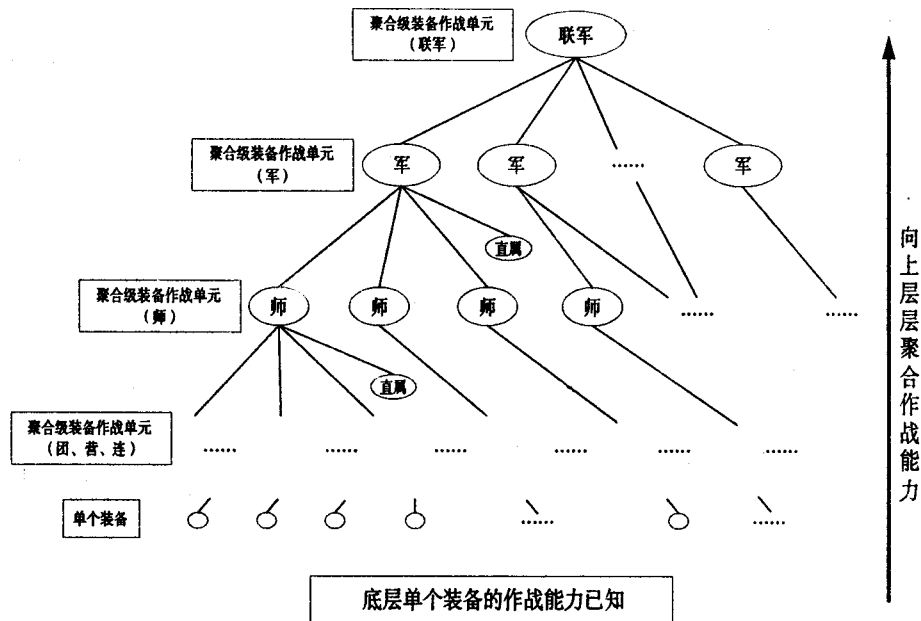


图 1 聚合级装备作战单元层次分析图

同,可选用不同的维修延续时间参数,例如平均修复时间、恢复功能的任务时间、维修停机时间等。文中研究的是机动防空任务下聚合级装备作战单元的任务维修性,因此选用恢复功能的任务时间(MTTRF)作为评价参数,并赋予其具体的含义。

MTTRF 是排除致命性故障所需的实际时间的平均值,即在规定的任务剖面中,产品致命性故障总的修复时间与致命性故障总次数之比。对于聚合级装备作战单元来说,采用 MTTRF 来表示在机动防空任务剖面内,从致命性故障发生并进入修复状态到故障修复并开始正常工作的平均间隔时间。这个时间与聚合级装备作战单元所辖的下级装备作战单元的任务维修特性、任务可靠性逻辑关系和所对应的保障系统的维修能力、维修策略等都有关系。例如,致命性故障根据不同的损坏程度(轻中重),进入联合作战不同的保障系统进行维修。此时,每个保障系统的维修能力、维修策略以及维修资源(人员、备件、设备等)是否满足等,就都影响故障的修复时间。

## 2 机动防空任务下聚合级装备作战单元任务维修性仿真方法

机动防空是装备作战单元在机动的过程中由于遭受空袭需进行防空作战的一种任务形式。在这个任务剖面内,聚合级装备作战单元可能发生技术故障,也可能由于遭受空袭而战损,需要根据故障的程度送到不同的级别进行维修,故障修复后在返回机动任务。在这里,假设空袭是以一定的频度多次瞬间发生的;发生技术故障正在维修的装备不会遭受空袭;遭受空袭的

装备也可能同时以一定的概率受损。

在进行任务维修性仿真时,需要确定每次维修  $i$  开始的时刻  $T_{is}$  和维修结束的時刻  $T_{ie}$ ,才能计算本次的维修时间  $T_i = T_{ie} - T_{is}$ 。在一次仿真中会发生多次故障,这样一次仿真  $j$  的平均维修时间为  $\bar{M}_j = \sum_{i=1}^n T_i / n_i$ ,其中,  $n_i$  为本次仿真的维修次数。为了提高仿真结果的精度,可以采取多次仿真求平均的方法,得到精确的平均维修时间  $\bar{M} = \sum_{j=1}^m \bar{M}_j / m$ ,其中  $m$  为总的仿真次数。在这里,由于考虑的是致命性故障间的维修时间,所以,  $MTTRF = \bar{M}$ ,即:

$$MTTRF = \frac{\sum_{j=1}^m \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^n (T_{ie} - T_{is})}{m} \quad (1)$$

维修开始的时刻  $T_{is}$  也就是致命性故障发生的时刻,因此需要区分哪些故障是致命性故障。这就与任务可靠性逻辑关系密切相关。例如,在图 1 所示的聚合级装备作战单元的层次关系中,对于联军聚合级装备作战单元来说,当其下辖的某个军发生致命性故障时,则联军的致命性故障区分如下:

\* 如果在联军的任务可靠性逻辑关系下,某军的致命性故障不影响联军任务的执行,则对于联军来说

是没有致命性故障发生的,这个故障的修复时间不会记入联军的 MTTRF;

\* 如果在联军的任务可靠性逻辑关系下,某军的致命性故障影响了联军任务的执行,则对于联军来说发生了致命性故障,这个故障的修复时间要记入联军的 MTTRF。

维修结束的時刻  $T_{ie}$  与故障单元的固有维修性、保障系统的维修能力和维修策略以及保障延误等密切相关。在这里,为了问题研究的方便,将保障系统进行简化,如图 2 所示。

### 3 基于 Petri 网的聚合级装备作战单元机动防空任务维修性仿真模型

基于上述聚合级装备作战单元任务维修性仿真方法的分析,在 Expect 仿真环境中建立了聚合级装备作战单元的机动防空任务维修性仿真模型<sup>[8,9]</sup>。仿真模型是分层建立并进行仿真的,这里只给出主要模型,不再展开细节,如图 3 所示。

图 3 的仿真模型模拟了聚合级装备作战单元机动防空任务中故障并维修的过程。其中 statics 是对聚合级装备作战单元恢复功能的任务时间 MTTRF 的仿真统计过程。通过输入聚合级装备作战单元底层各装

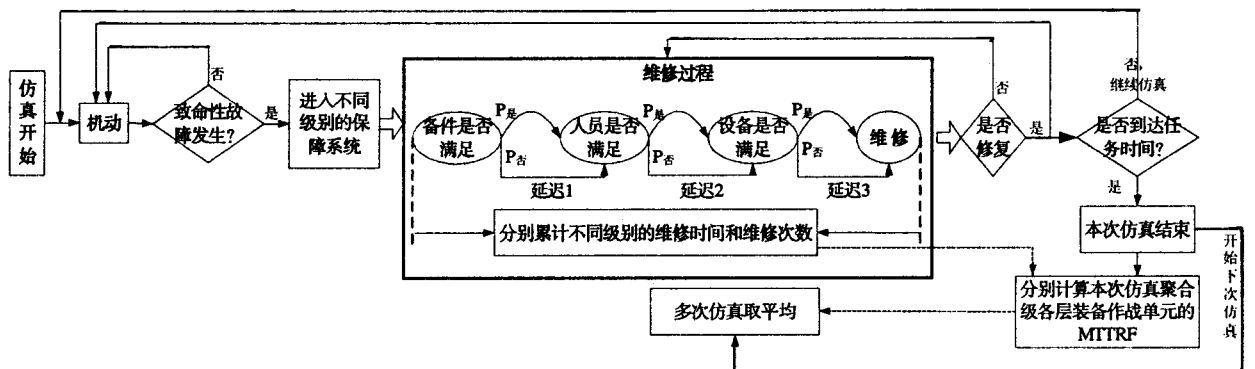


图 2 聚合级装备作战单元机动防空任务维修性仿真流程图

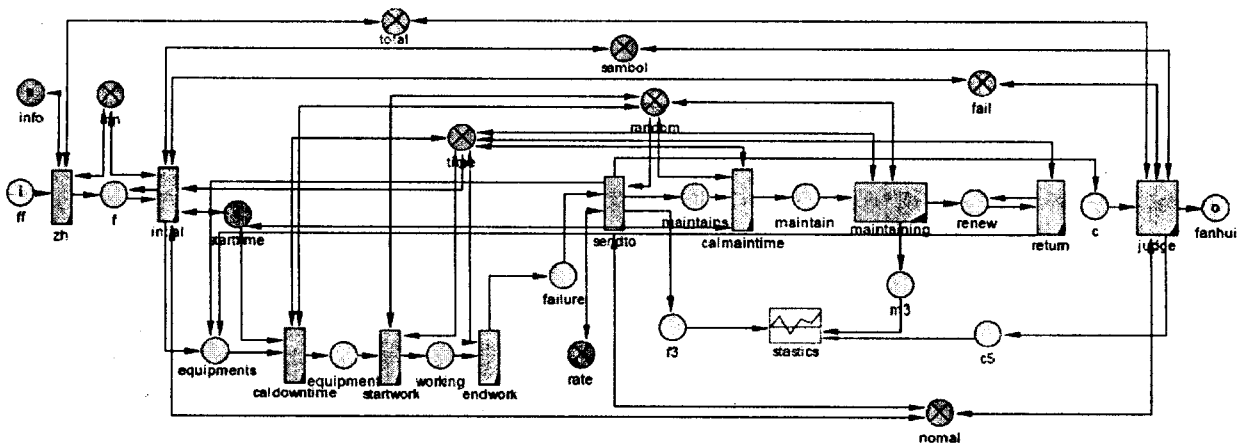


图 3 聚合级装备作战单元机动防空任务维修性仿真模型

备的在不同保障级别的 MTTRF、故障装备的受损程度、遭受空袭的次数及时刻、机动防空任务的任务时间和任务要求等初始数值,通过模型的仿真,可以分别获得各层聚合级装备作战单元的 MTTRF。

#### 4 仿真实例

该节针对一个实例,利用上述给出的仿真模型来进行实例验证。此实例的聚合级装备作战单元的层次如图 4 所示。

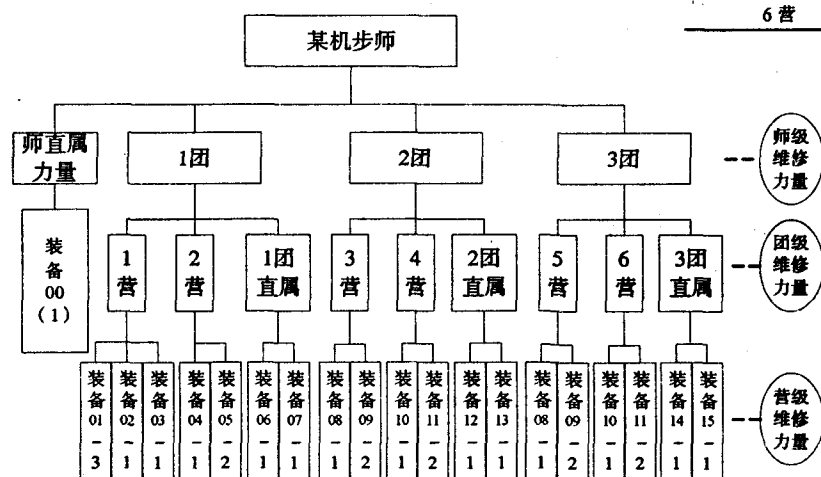


图 4 某机步师聚合级装备作战单元层次图

整理系统的输入数据并进行分类,主要包括图 4 中各装备的平均故障间隔时间、各装备在不同保障级别的平均修复时间、机动防空的任务时间和任务量要求、空袭频度和装备的轻中重受损概率。其中,最主要的是装备的可靠性维修性参数,如表 1 所示:

表 1 各装备的可靠性维修性参数

装备	MTBF(h)	MTTR营级(h)	MTTR团级(h)	MTTR师级(h)
00	70	0.5	2	6.5
01	60	0.5	3	5
02	80	0.5	2	7
03	80	0.5	2	6.5
04	50	0.5	2	5.5
05	70	0.5	1.5	6.5
06	60	0.5	2	6
07	80	0.5	2	6.5
08	100	0.5	2	5
09	100	0.5	1	6
10	50	0.5	2	5
11	90	0.5	1.2	6.5
12	60	0.5	2	6
13	80	0.5	2	6.5
14	80	0.5	2	6
15	80	0.5	2	6.5

将整理的系统数据输入文中所建立的通用仿真模型,经过仿真,统计的仿真结果数据如表 2 所示。

表 2 各聚合级装备作战单元的 MTTRF

聚合级装备作战单元	恢复功能的任务时间 MTTRF(h)
某机步师	8.46
1 团	4.31
2 团	4.56
3 团	4.46
1 营	11.77
2 营	9.30
3 营	9.08
4 营	8.08
5 营	9.15
6 营	9.18

通过仿真得到的各聚合级装备作战单元的恢复功能的任务时间 MTTRF,可以了解各作战单元的维修性,也可以通过调整输入数据,进行维修性的灵敏度分析等,这里不再赘述。

根据仿真结果数据,可以得到聚合级装备作战单元各层的平均故障间隔时间,进而可以对每层的任务可靠性进行一定的了解。同时,这些任务可靠性参数可以作为评价,例如可以用作评估使用可用度的基础数值之一,等等。

#### 5 结束语

文中在分析任务维修性的基础上,建立了聚合级装备作战单元在机动防空任务下的任务维修性仿真模型,通过仿真可以获取聚合级装备作战单元的 MTTRF。这个参数可以作为聚合级装备作战单元作战性能的基础数据之一。另外,该文虽然针对机动防空任务建立仿真模型,但可以在此基础上研究扩充其它任务下的任务维修性仿真模型,希望在此能起到抛砖引玉的作用。

#### 参考文献:

- [1] Yang Yuhang, Li Zhizhong, Zhang Li. Failure data and inferential statistics preferentially based mission reliability evaluation methods[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(12): 2761-2763.
- [2] 甘茂治,康建设,高崎. 军用装备维修工程[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [3] 郑龙,刘敬军,罗鹏程,等. C<sup>3</sup>I 系统的网络可靠性综述[J]. 计算机技术与发展,2006,16(4): 11-13.
- [4] Lin Chuang, Qu Yang, Ren Fengyuan. Performance Equivalent Analysis of Workflow Systems Based on Stochastic Petri Net Models[C]//Engineering and Deployment of Cooperative Information Systems. Berlin: Springer, 2002: 64-79.

(下转第 237 页)

成,它实现了 MethodInterceptor 接口。在拦截器的方法中,通过检查目标方法的参数值来判断客户端是否具有调用目标方法的权限。通过 Spring 的正则表达式切面,使拦截器检查调用目标方法的合法性。该拦截器的配置代码如下:

```
<bean id="authorityAdvisor" class="org.springframework.aop.support.RegexpMethodPointcutAdvisor">
<!-- advice 属性确定处理 bean -->
<property name="advice">
<bean class="com.authority.AuthorityInterceptor"/>
</property>
<!-- patterns 确定正则表达式模式 -->
<property name="patterns">
<list>
<value>.*addBlog</value>
<!-- 此处可添加其它需要权限检查的方法名 -->
</list>
</property>
</bean>
```

配置权限检查 Advisor 后,使用 Spring 提供的自动代理功能,可使其对业务逻辑组件进行权限控制。通过自动代理,可以为多个目标 Bean 实现 AOP 代理,还可以避免客户端绕过代理 Bean 直接访问目标 Bean。

提供自动代理的配置代码片段如下:

```
<!-- 配置 BeanNameAutoProxyCreator -->
<bean class="org.springframework.aop.framework.autoproxy.BeanNameAutoProxyCreator">
<!-- 指定对满足条件的 bean 自动生成业务代理 -->
<property name="beanNames">
<!-- 下面是所有需要自动创建事务代理的 bean -->
<list>
<value>blogManager</value>
</list>
</property>
<!-- 下面定义 BeanNameAutoProxyCreator 所需的拦截器 -->
<property name="interceptorNames">
<list>
<value>authorityAdvisor</value>
```

(上接第 233 页)

- [5] 秦 凯,姜 浩.一种基于 Petri 网的工作流模型分解方法[J].计算机技术与发展,2008,18(1):97-100.
- [6] 张 力,赵宗涛,慕晓冬,等.Petri 网模型与程序流程图的比较及应用研究[J].计算机技术与发展,2006,16(6):150-153.
- [7] 张国春,胡晓峰.聚合作战建模研究[J].计算机仿真,

```
<!-- 此处可添加其它拦截器 -->
</list>
</property>
</bean>
```

### 3 结束语

系统架构集成了 Spring 与 Hibernate 开源框架,其良好的分层思想,使得各层之间相对独立,缩短了开发周期,增加了重用性,可扩展性高;在此基础上再整合 DWR 框架,可以减轻服务器的负担和响应时间,无需刷新整个页面。通过具体实例分析了相关框架集成和应用实现的技术要点。所实现的功能已取得了满意的应用效果。

框架整合是一个反复的过程,需要在应用中不断发现其缺点,在改进中逐步成熟。文中所构建的新架构仍有待于进一步改进,如可在表现层使用 Struts 框架<sup>[8]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 陈 涛,马光思. Research and implement of data access framework with JDBC[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2005,37(4):540-545.
- [2] 李 扬,马光思. 扩展与整合 Web 应用框架的研究与实践[J].计算机工程,2006,32(17):144-146.
- [3] 蒋 伟,马光思. Spring 与其他框架整合及流程分析[J].计算机工程,2007,33(14):79-81.
- [4] 纪 颖,马光思. 使用 DAO 和业务代理联合模式整合 Web 应用框架[J]. 计算机技术与发展,2006,16(11):19-21.
- [5] 蒋 伟. Ajax 在整合框架中的研究与应用[D]. 西安:西安建筑科技大学,2007.
- [6] Johnson R. Spring Reference Documentation[EB/OL]. 2004. <http://www.springframework.org/>.
- [7] Johnson R. Introducing the Spring Framework[EB/OL]. 2004. <http://www.theserverside.com/>.
- [8] Walls G, Breidenbach R. Spring in Action[M]. [s.l.]:Manning Publications Co. 2005.

2004,21(2):7-10.

- [8] 孙建召,曾巧明. 基于面向对象 Petri 网的工作流建模及性能分析[J].计算机技术与发展,2007,17(10):73-75.
- [9] ExSpect User Manual Management & ICT Consultants[M]. The Netherlands:[s.n.],2000.