第9卷　第1期　　信 息 与 电 子 工 程　　Vol.9,No.1
2011年2月　　INFORMATION AND ELECTRONIC ENGINEERING　　Feb.,2011

文章编号：1672-2892(2011)01-0109-04

基于仿真的备件需求量确定方法

陈辉强[1,2]，聂成龙[1]，李志勇[1]，高　飞[1]

(1.军械工程学院 装备指挥与管理系，河北 石家庄 050003；2.中国人民解放军66347部队，河北 保定 071000)

摘　要：准确的备件库存量预测是合理有效地进行备件保障等各项综合保障工作的基础。为了实现装备备件的精确化保障，提高保障效率，降低保障成本，介绍了一种根据部件的维修性、可靠性参数确定备件储备量的解析算法模型。基于 Exspect 平台实现了 Petri 网对一次任务的仿真算法，求出了备件储备量，并对不同的备件保障方案进行了对比，采用逐个对比的方法得出库存量的最优值。通过最后的计算实例，对仿真方法进行备件储备量确定的可行性进行了验证。

关键词：备件；需求量；仿真；模型

中图分类号：TP391.9　　　　**文献标识码：**A

Spare demand determination based on simulation

CHEN Hui-qiang[1,2], NIE Cheng-long[1], LI Zhi-yong[1], GAO Fei[1]

(1.Department of Equipment Command and Management, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang Hebei 050003;
2.NO.66347 Unit of PLA, Baoding Hebei 071000, China)

Abstract: Accurate spare forecast is the basis of effective logistics supporting. An analytic method was put forward according to the reliability and maintenance parameters to determine the spare demand. Based on platform of Exspect and Petri net, a simulation method was used to calculate an example task. The spare demand was determined and different spare support schemes were compared to obtain the optimized value. The effectiveness of this simulation model was demonstrated through a particular case.

Key words: spare; demand; simulation; model

现代高技术局部战争中使用的装备构成极其复杂，保障难度大，其备件保障能力直接影响使用寿命、维护成本和能否有效形成战斗力。由于武器部件组成复杂，种类繁多，数量大，因此必须选取科学的方法对部件进行分析，作为制定备件配置方案的合理依据[1-2]。

1　备件储备量的解析算法

为了合理确定在维修信息采集阶段维修任务所需备件的数量，需要首先计算出备件的储备量。由于故障机理的不同，对于储备量从不可修复备件和可修复备件这2个方面进行分析[3]。

1) 不可修复备件的储备量

为了及时修复故障装备，换件修理是经常采用的既快速又较简便的方法。如果把装备和备件加在一起看成是装备系统，换下的失效件不再修复，换件的时间和备件储备期间备件的故障率忽略不计，则装备系统相当于冷储备系统。设装备之某一易损零件失效，则装备失效，立即用备件更换，共有 n 个备件，n 个备件全都失效后装备系统才失效(故障)。以最一般的情况，当装备中需要 L 个元件同时工作时，设每个元件的可靠度是 $e^{-\lambda t}$，L 个元件同时工作系统才工作，连同备件一起，装备系统的可靠度 $R(t)$和备件短缺的时间均值 $\bar{T}$ 为：

$$R(t)=\sum_{k=0}^{n}\frac{(L\lambda t)^k}{k!}e^{-L\lambda t}\ ,\quad \bar{T}=\frac{n+1}{L\lambda} \tag{1}$$

式中 λ 为故障率。

2) 可修复备件的储备量

假设故障备件换下来后立即进行修复，且换件的时间不计，在只有1个服务台时可以计算以系统任务可靠度

收稿日期：2010-06-28；**修回日期：**2010-07-22

为目标的备件储备量。设系统的寿命分布为指数分布,则首次出现备件短缺的时间均值 $\overline{T}$ 与任务可靠度的关系为:

$$R(t)=e^{-t/\overline{T}}$$

对于可修备件，系统首次出现缺备件的时间平均值的计算分 3 种情况：

当修复比 $K=\dfrac{\upsilon}{\lambda}\approx 1$ (υ 为修复率)时，系统出现缺备件事件的均值 $\overline{T}=\sum\limits_{i=0}^{n}T_i=\dfrac{1}{2}(n+1)(n+2)T_n$，其中 T_n 为第 n 个部件的寿命。

由 $T_n\times\lambda=1$(对于 T_n 向缺备件事件转移一次即出现缺备件事件)可得：

$$n=\frac{-3+\sqrt{9+8(\lambda T-1)}}{2}$$

$$\overline{T}=\frac{T_n}{K-1}\left[\frac{K^{n_2+2}-1}{K-1}-(n_1+2)\right]$$

$$n_2=\frac{\lg\left[\lambda\overline{T}(K-1)^2+(n_1+2)(K-1)+1\right]}{\lg K}-2$$

如果算出的 n_2 与 n_1 值相差较小(小于 1)，二者中较大的即是要求的备件量 n；如果算出的 n_2 与 n_1 值相差较大，可以用 n_2 代替 n_1，进一步求第 3 近似解 n_3，直到 n_i 与 n_{i+1} 之差小于 1，取较大者。

当 $K>1$ 时，若 n 也较大时，$K^{n+2}\gg 1$，则 $\overline{T}=\dfrac{T_n}{(K-1)^2}\left(K^{n+2}-1\right)$，$n=\dfrac{\lg\left[\lambda\overline{T}(K-1)^2+1\right]}{\lg K}-2$。

当 $K<1$ 时，若 n 值较大，则 $K^{n+1}\ll 1$，则 $\overline{T}=\dfrac{T_n}{1-K}\left(n+2-\dfrac{1}{1-K}\right)$，$n=\left[\lambda\overline{T}(1-K)+\dfrac{1}{1-K}\right]-2$。

导弹模块的某部件故障率为 0.1 件/h,修复率为 0.4 件/h,连续工作 1 000 h 不缺备件,问最少要备件多少个?

当 K=2，$\overline{T}$ =1 000 h；

当 $K>1$，$n_1=n=\dfrac{\lg\left[\lambda\overline{T}(K-1)^2+1\right]}{\lg K}-2$ =5.303 3/0.693 1−2=5.651 6。

将 n_1 代入 $n_2=\dfrac{\lg\left[\lambda\overline{T}(K-1)^2+(n_1+2)(K-1)+1\right]}{\lg K}-2$ 求解 n_2，得 n_2=5.340 7/0.693 1−2=5.705 5，n_2–n_1<1，因此可以取备件数量为 6。

2 备件储备量的仿真算法

以战车的行驶这个基本任务为仿真过程，在 Exspect 平台下用 Petri 理论进行建模[4–6]，其主要过程如下：

Petri 网输入信息：

<|<<{<<[id:1,f:[a:1,b:0.6,c:0.,d:0.],gz:{[typ:6,gl:1.000 010 013 580 32,s:{<<5,8>>},e:[p:1.,a:1,b:0.,c:0.,d:0.],p:[p:1.,a:1,b:0.,c:0.,d:0.]]},r:[a:1,b:0.453 7,c:0.,d:0.]],[n:3,x:{1,2,3},k:1]>>},[t:0.08,w:0.04,p:0.9]>>|>

[kcl:{<<5,2>>} ,sql:4,sqt:1.]

<|<<1,true>>|>

战车行使只包含战车底盘系统一个功能系统,<|<<1,true>>|>表示此过程为可修。<|<<{<<[id:1,f:[a:1,b:0.6,c:0.,d:0.],gz:{[typ:6,gl:1.000 010 013 580 32,s:{<<5,8>>},e:[p:1.,a:1,b:0.,c:0.,d:0.],p:[p:1.,a:1,b:0.,c:0.,d:0.]]},r:[a:1,b:0.4537,c:0.,d:0.]],[n:3,x:{1,2,3},k:1]>>},[t:0.08,w:0.04,p:0.9]>>|>表示战车底盘系统的故障服从参数为 0.6 的指数分布,其中 f:[a:1,b:0.6,c:0.,d:0.],a:1 表示为指数分布,b 表明了分布参数。该故障需要编号为 5 的备件 8 个。s:{<<5,8>>},肩括号中第 1 个参数表明备件种类，第 2 个参数表明备件的需求量。r:[a:1,b:0.4537,c:0.,d:0.]中的参数含义与 f 相似。库存量的表示方式为[kcl:{<<5,2>>},sql:4,sqt:1.]，其中表示 5 号备件的库存量为 2,每次申请量为 4，申请时间 1 h。以任务成功性为仿真结果的维修过程流程见图 1。

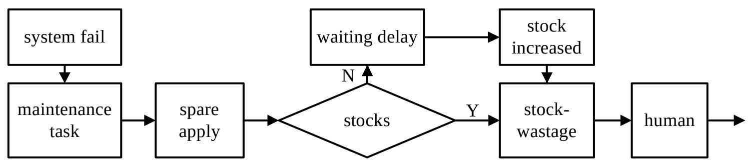

Fig.1 Process of simulation
图 1 仿真流程图

根据上面的逻辑流程使用 Exspect 平台进行仿真实现[7–8]，见图 2。

通过多次仿真可以得到表 1,其中库存量是指某个备件的库存数量，申请量的定义为每次缺少备件时向上级单位请领的数量。任务成功率指的是在整个任务阶段内，任务成功次数与总任务次数的比值。

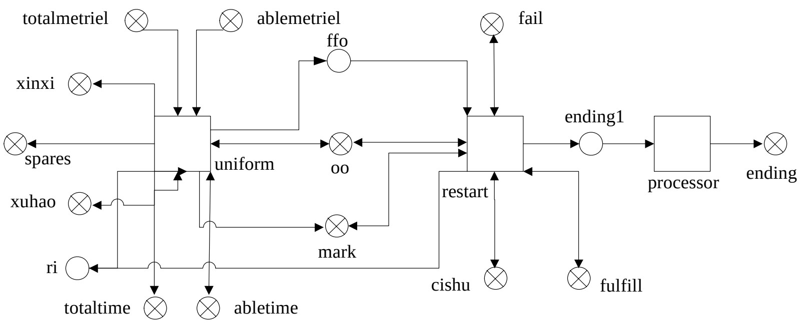

Fig.2 Simulation logic of Exspect
图 2 Exspect 仿真逻辑

通过分析上面的仿真结果并结合灵敏度分析可以看出，库存量的最优值是 4。在库存量从 1 增加到 4 过程中，任务效能一直处于较低的状态，当增加到 4 之后，再继续增加库存的意义就不大了，其增长率与前一阶段相比明显下降。如果考虑到备件的采购和保存费用，效费比也会大大降低。

申请量增加可以使任务成功率逐渐提高，但提高到 4 之后对任务成功率的影响也就趋于平缓。这时考虑到提高申请量势必会增加备件采购的费用，因此申请量最适宜的值显然也是 4。

表 1 备件仿真结果
Table1 Results of spare simulation

stock	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
success rate	92.8	92.8	92.8	94.1	94.1	94.1	94.1	94.5	94.5	94.5
apply amount	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
success rate	92.1	93.4	93.7	93.8	93.8	93.8	93.8	93.8	93.8	94.0

3　仿真结果的验证

按照战车的 RMS 参数进行解析方法的验证，得到：$\lambda = 0.6$, υ =0.453 7, $K = \dfrac{0.4537}{0.6} < 1$。

由于 $n = [\lambda \overline{T}(1-K) + \dfrac{1}{1-K}] - 2$ =3.564≈4，从而可以用解析方法验证仿真模型的正确性。

4　结论

通过以上的对比分析，可以看出使用 Petri 网建立的备件的库存量、需求量、申请时间、申请量模型能够很好地反映出备件存储与供应过程中的实际情况。运用此仿真的方法，可以帮助决策机关确定以上 4 个参数，提高其工作效率，提高资源的利用率，同时为部队的使用单位提供重要的技术参考。

参考文献:

[1] 孙玲,闻敬谦. 飞机服务备件供应保障的仿真优化[J]. 计算机与现代化, 2008(12):138-141. (SUN Ling,WEN Jingqian. Simulation and Optimization of Airplane Service Parts Supply and Support[J]. JISUANJI YU XIANDAIHUA, 2008(12):138-141.)

[2] 尚柏林,张恒喜,刘晓东. 飞机后续备件供应保障系统面向对象仿真[J]. 系统工程与电子技术, 2001,23(7):38-40. (SHANGBailin,ZHANG Hengxi,LIU Xiaolong. Object-Oriented Simulation on Aircraft's Follow-on Spares Provision and Support System[J]. System Engineering and Electronics, 2001,23(7):38-40.)

[3] 甘茂治. 可靠性、维修性和后勤保障寿命周期方法[M]. 北京:国防工业出版社, 2000. (GAN Maozhi. Reliability,Maintenance and Logistic Support Cycle Method[M]. Beijing:National Defence Industry Press, 2000.)

[4] 袁崇义. Petri 网原理[M]. 北京:电子工业出版社, 1998. (YUAN Chongyi. The Principle of Petri net[M]. Beijing:Electronic Industry Press, 1998.)

[5] 刘武刚,杨建波,周瑞. 基于 Simulink 的联合战术信息分发系统仿真[J]. 信息与电子工程, 2010,8(1):15-18. (LIU Wugang,YANG Jianbo,ZHOU Rui. JTIDS signal simulation based on Simulink[J]. Information and Electronic Engineering, 2010,8(1):15-18.)

[6] 张戎,路明,陶冠时,等. 超低空雷达引信信号检测方法与仿真[J]. 信息与电子工程, 2009,7(6):566-568. (ZHANG Rong, LU Ming,TAO Guanshi,et al. Detection and simulation for signal of extra-low-altitude radar fuse[J]. Information and Electronic Engineering, 2009,7(6):566-568.

[7] Vijay Gehlot,Kranthima Edupuganti. Use of Colored Petri Nets to Model,Analyze,and Evaluate Service Composition and Orchestration[C]// 42nd Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii:[s.n.], 2009.

(下转第 126 页)