

基于遗传算法的备件两级优化建模与仿真研究

范 浩, 贾希胜, 贾云献, 王亚彬

(军械工程学院装备指挥与管理系, 河北 石家庄 050003)

摘 要: 针对装备备件保障中存在的配置不合理问题, 提出了一种基于仿真和遗传算法的备件配置优化算法。该算法采用仿真方法建立装备使用可用度模型, 并利用遗传算法实现备件的优化, 实现了在满足备件保障费用约束的前提下, 使装备使用可用度达到最大。给出了应用该方法的具体步骤, 并通过举例验证了算法的有效性。

关键词: 优化; 仿真; 遗传算法; 使用可用度

中图分类号: TJ762.11

文献标识码: A

Modeling and simulation of two levels spare parts optimization based on GA

FAN Hao, JIA Xi-sheng, JIA Yun-xian, WANG Ya-bin

(Dept. of Equipment Command and Management, Ordnance Engineering Coll., Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Aim at the unreasonable deploying of spare parts in equipment support, an optimizing arithmetic is put forward based on simulation and genetic algorithm. The model of equipments operational availability is built by simulation and optimization is realized using genetic algorithm. Operational availability of equipment can be maximized using this arithmetic while meets the limitation of spare parts cost. The process is given using this arithmetic, and the efficiency is validated through an example.

Key words: optimization; simulation; genetic algorithm; operational availability

0 引 言

武器装备的维修保障系统是部队战斗力的重要组成部分。在维修资源中, 备件所占资金比例最大, 因此, 做好备件需求的预测和优化配置工作尤为重要。目前各级仓库备件储备量的确定主要是根据一定时期内装备的训练任务量和各级维修的需要, 利用历史记录和经验数据进行分析预测得到^[1]。即各级仓库的备件储备往往只考虑了本级维修对备件的需求, 而没有考虑多级优化配置的问题。同时在实际保障过程中为了满足装备维修的需要, 又往往采用备件最大需求量来进行储备, 因此造成部队各级仓库普遍存在“备件匮乏和大量积压”的现象。这使得有限的保障资金无法得到充分利用, 并难以获得高的保障效率。所以有必要进行备件多级保障的优化配置研究, 以降低保障费用和提高保障水平^[2]。

目前, 国内外对备件管理的定量化决策研究主要采用的是解析方法。该方法可以较好地解决其中许多问题。但是, 由于备件管理涉及因素多, 解析方法往往做了许多假设和简化。此外, 在有些情况下, 如有横向调剂、各基层库存情况有较大差别等, 现有的解析方法目前还不能解决这些问题^[3]。为此, 运用仿真的方法模拟装备系统与备件保障

系统的运行, 建立装备系统的可用度仿真模型, 并与遗传算法相结合来实现备件的优化配置, 以便更好地解决备件管理中存在的主要问题。

解决优化问题的方法有很多, 其中遗传算法作为一种新型的、模拟生物进化过程的随机化搜索、优化方法, 近几十年来在组合优化领域得到了相当广泛的研究和应用, 并在解决诸多典型组合优化问题中显示了良好的性能和效果^[4]。本文提出了一种基于遗传算法的以使用可用度为中心的备件存储模型。它在分析了现有维修机构组成及关系的前提下, 并在满足一定资金约束的条件下, 通过确定最优的备件库存配置来实现装备使用可用度的最大化。目的在于为实现备件库存优化问题寻求一种适用的工程方法。

1 装备使用可用度建模

1.1 备件保障系统分析

备件保障大多实行的是三级保障, 即基层级、中继级和基地级。各级仓库的保障关系和备件流向如图 1 所示。其中一个基地级仓库对若干个中继级仓库实施备件的供应保障; 而每个中继级仓库又对若干个基层级仓库实施备件的供应保障; 基层级仓库对装备实施直接保障。且同级仓库之间不存在备件流动。基地级仓库作为后方仓库, 为保障装备在

收稿日期: 2004-11-09; 修回日期: 2005-06-06。

作者简介: 范浩(1973-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为装备保障资源预测与优化。E-mail: fh1130@163.com

一段时期内的正常训练和任务的完成,定期向中继级和基层级仓库配发一定数量的备件作为储备。若在该段时期内基层级出现备件缺货,则向中继级请领;若中继级出现备件缺货则向基地级请领(这种情况一般较少)。

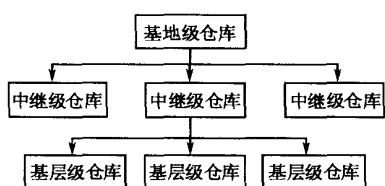


图1 各级仓库备件供给流向关系示意图

1.2 装备使用可用度仿真模型

可用度是指装备在任一随机时刻需要和开始执行任务时,处于可工作或可使用状态的概率。最能反映系统处于使用环境下使用效能的参数是使用可用度 (operational availability) A_0 , 其表达式为

$$A_0 = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR} + \text{MSRT})$$

式中: A_0 ——装备使用可用度; MTBF (mean time between failure) ——平均无故障工作时间; MTTR (mean time to repair) ——平均修复时间; MSRT (mean support reaction time) ——平均保障反应时间。

MTBF 与装备的故障率有关,而 MTTR 与装备的排除故障维修时间有关,通常这两个参数与装备的固有可靠性与维修性相关,可以通过设计过程获取。而 MSRT 是后勤

以上是可用度的一次仿真流程,由于一次仿真结果的随机性较大,因此系统的可用度通常取 N 次仿真结果的平均值 (N 取 1 000)。即

$$A_0 = \frac{1}{N} \sum A$$

在建立了系统可用度模型的基础上,就可以利用遗传算法来实现备件优化问题的。

2 基于遗传算法的备件优化问题求解

(1) 编码 由于备件种类数量大,故种群个体采用顺序编码方式。设备件种类数量是 s , 各种备件在基层级储备上限分别为 $n_1, \dots, n_k, \dots, n_s$; 在中继级的储备上限分别为 $m_1, \dots, m_k, \dots, m_s$ 。将每个个体定义为备件在各级别上的储备数量。个体中前 s 个值为基层级各种备件的储备数量,后 s 个值为中继级各种备件的储备数量。

(2) 初始种群 初始种群通过产生随机数赋值,并要通过适应度值的检测。设定种群数

延误时间与行政管理延误时间之和。与备件有关的时间是后勤延误时间,它是指维修停机时间:包括等待取得备件、等待运输、等待维修所需设备^[1]。用户的目标是在满足一定的约束条件下,为装备维修所需的备件确定合理的配置方案,将等待备件所造成的后勤延误时间降低到最小,即实现使用可用度 A_0 的最大化。

在不影响说明问题的前提下,假设:

- (1) 忽略中继级向基地级临时请领的情况;
- (2) 部件故障后均在基层级进行更换,更换件报废;
- (3) 所有装备的年规定工作时间相同。

利用蒙特卡罗仿真方法建立包含一个中继级和若干个基层级的某型装备的系统可用度模型。仿真流程如图 2。

图中: T_0 ——每部装备年规定训练时间; U_{ijk} ——故障单元; T_{ijk} ——单元仿真子时钟 (i 为基层级单位编号, j 为装备编号, k 为单元编号); t_{rand} ——单元故障间隔时间的随机抽样; t_{ij} ——第 i 个基层级的第 j 个装备的实际运行时间; Δt ——所有装备两次故障的间隔时间; t_D ——基层级向中继级请领备件的延迟时间; t_w ——换件修复时间。由此可用下式表示装备系统的使用可用度 (设有 m 个基层级, 每个基层级保障 n 个装备, 每个装备由 q 个单元组成, $l = 1, \dots, q$)

$$A = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} \right) / mnT_0$$

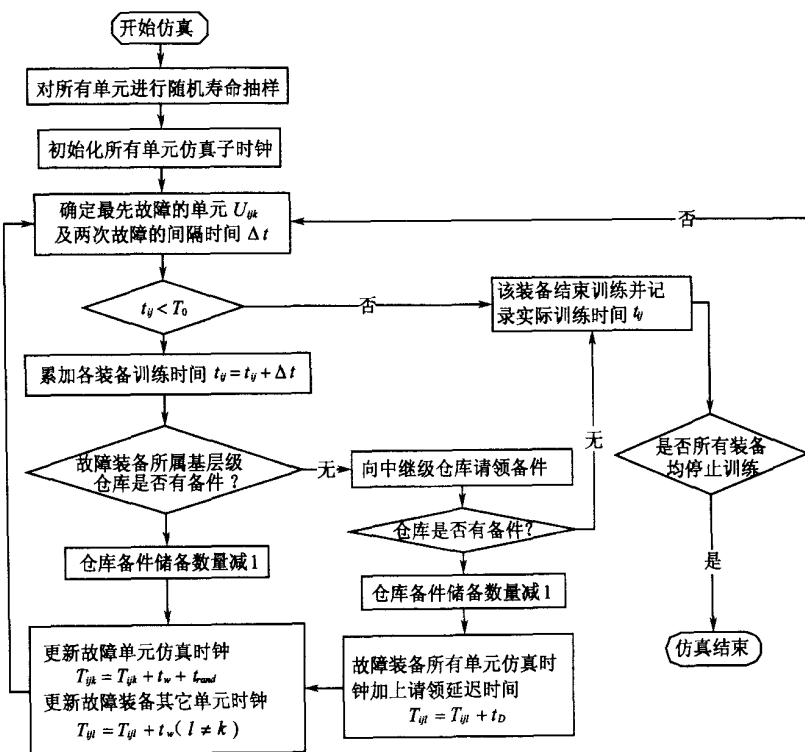


图2 装备使用可用度蒙特卡罗仿真流程

量为 pop. size。则第 k 个个体可以表示为 ($s = \text{pop. size}$)

$$B_k = (b_{1k}^0, b_{2k}^0 \cdots b_{sk}^0; b_{1k}^1, b_{2k}^1 \cdots b_{sk}^1)$$

(3) 交叉和变异 采用一点交叉法,即确定交叉点,并将该点前或后的两个个体的部分结构进行互换,形成两个新的个体。通过父代个体两两配对进行基因重组产生若干子代个体。交叉概率和变异概率按如下公式进行自适应调整^[4](P_c 为交叉率, P_m 为变异率)。

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{(P_{c1} - P_{c2})(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f' \geq f_{avg} \\ P_{c1} & f' < f_{avg} \end{cases}$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{(P_{m1} - P_{m2})(f_{max} - f)}{f_{max} - f_{avg}} & f \geq f_{avg} \\ P_{m1} & f < f_{avg} \end{cases}$$

式中: f_{max} ——群体中最大的适应度值, f_{avg} ——每代群体的平均适应度值, f' ——要交叉两个个体中较大的适应度值, f ——要变异个体的适应度值。

上式中一般取: $P_{c1} = 0.9$, $P_{c2} = 0.6$, $P_{m1} = 0.1$, $P_{m2} = 0.001$ 。实践证明采用该算法既可提高搜索的速度,还可避免陷入局部最优^[5]。

(4) 适应度评估 优化的目的是在满足经费约束的条件下使装备的可用度达到最大,因此将装备的使用可用度作为选择的适应度值,即

$$\text{eval}(A_i) = A_0$$

利用经费来检测每个个体的合法性,即要求以上 pop. size 个个体所对应的配置方案都必须满足经费要求,即实际的经费 $\cos t \leq \cos t_0$ ($\cos t_0$ 为经费上限,这里只考虑备件所耗资金和请领运输费用)。将不满足要求的个体适应度值赋为零。

(5) 选择 从子代中选择适应度值较大的 pop. size - 1 个个体作为下一代繁殖的种子。同时为了保证每一代的优良个体不被破坏,采用最佳个体保存法,使其直接复制到下一代。

当繁殖代数达到预先指定的 M 时终止,此时适应度值(可用度值)最大的个体就是所要求的解,个体中的基因值即对应各种备件在各级别的储备数量。下面通过举例来实现备件的优化问题。

3 举例

假设保障系统包括一个中继级仓库和三个基层级仓库,各种备件在各级仓库储备上限均为 9(由于仓库规模的限制,设置备件储备上限是符合实际情况的)。年规定连续工作时间为 5 000 h。每个基层级保障 4 个装备,每个装备由 5 个不同的部件串连组成,故障率分别是 $\lambda_1 = 0.0002/\text{h}$, $\lambda_2 = 0.0003/\text{h}$, $\lambda_3 = 0.0004/\text{h}$, $\lambda_4 = 0.0005/\text{h}$, $\lambda_5 = 0.0006/\text{h}$, 备件单价分别为 $C_1 = 400$ 元, $C_2 = 500$ 元, $C_3 = 600$ 元, $C_4 = 700$ 元, $C_5 = 800$ 元。假设所有部件的换件修复时间均为 5 h,基层级向中继级请领备件的延迟时间为 20 h,请领(采用 $\langle n, 0 \rangle$ 策略)请领一个备件的运输费用为 100 元;每年的备件保障经费是 8 万元。求解备件的优化配置方案。

按照上节的方法,用 VB 编写程序,运行得到的装备使用可用度变化曲线如图 3 所示。

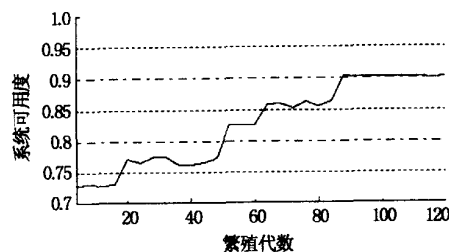


图3 备件优化过程中装备可用度变化曲线

由于采用的是最佳个体保存法,所以下一代个体中可用度最大值不会低于上一代,从图中曲线走向可以看出仿真结果与实际情况吻合。当繁殖到 89 代时可用度值为 0.903 145 3 且值不再改变,对应可用度最大的种子为 (2, 3, 5, 7, 9; 4, 8, 8, 9, 9)。由此得到各种备件的优化配置方案。保障费用为 79 900 元。

可以设想,如果备件只配置在基层级,则保障度要达到 0.9 的备件储备数量,可由公式

$$R_s(t) = \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda_i)^i}{i!} e^{-\lambda_i}$$

求得,分别为 7、9、12、14、17 个,共需保障费用 113 700 元,较本例优化配置方案的费用高出近二分之一:33 800 元,由此可见,备件的优化可以大大降低备件费用,从而提供保障的效率。

4 结论

备件优化是利用有限的维修保障经费,保证武器装备具有更高使用可用度和战备完好率,或在满足规定的装备使用可用度和完好率前提下,占用更少维修经费的重要途径。通过遗传算法来解决这一优化问题是一个有效的新方法。

在实际的装备保障中,部队各级仓库都存有成千上万的大量备件,如果能采用以上方法来实现备件的优化配置,就能解决部队实际保障过程中普遍存在的“备件匮乏和大量积压”的问题,以实现装备保障“低投入、高效率”的目标。

参考文献:

- [1] 甘茂治,康建设,高崎,编. 军用装备维修工程学[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [2] 杨宇航,冯允成. 资源维修效能优化仿真研究[J]. 系统仿真学报,2001,163(4):420-422.
- [3] 杨宇航,赵建民. 备件管理系统仿真研究[J]. 系统仿真学报,2004,16(5):981-986.
- [4] 王小平,曹立明,编. 遗传算法理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.
- [5] GOLDBERG D E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning [M]. New York: Addison - Wesley Publishing Company Inc, 1989.