

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.03.009

通信装备战时随装携行备件优化方法

李文元, 张勇军, 李德龙, 陈立江

(西安通信学院 通信指挥系, 西安 710106)

摘要: 针对战时通信装备备件的配置问题, 对通信装备随装携行备件优化方法进行研究。分析装备的基本功能项目确定所需备件的种类, 以通信装备的战备完好性和备件费用作为 2 个互相制约的因素, 建立模型进行了研究, 并给出了利用遗传算法进行求解的思路。该方法能在满足一定装备完好性的基础上使备件携行量最少, 有利于战时通信装备维修的精确化和科学化。

关键词: 通信装备; 备件; 优化; 遗传算法

中图分类号: TN911; N945.12 **文献标志码:** A

An Optimal Method of Spare Parts Carried by Communication Equipment in Wartime

Li Wenyuan, Zhang Yongjun, Li Delong, Chen Lijiang

(Dept. of Communication Command, Xi'an Communication Institute, Xi'an 710106, China)

Abstract: Aiming at the problem of allocating spare parts to communication equipment in wartime, research on optimal method of spare parts carried by communication equipment. It analyzes the basic function item (BFI) of equipment and confirms the categories of integrant spare parts and establishes an optimal model on two factors that restrict each other, they are operational readiness and expenses. Finally, the solution of genetic algorithm (GA) is given. The method can make the numbers of spare parts reach to the least, and make the maintenance more accurate and scientific.

Keywords: communication equipment; spare parts; optimization; genetic algorithm

0 引言

备件是装备进行维修保障活动的重要物资资源之一。战场条件下, 装备的使用环境恶劣, 备件的消耗量大幅度增大, 并呈现出许多不同的特点和规律, 作战过程中更宜采用换件修理的方法, 所以维修工作对备件的依赖性很大。我军对战时备件优化模型的研究还不成熟, 战时携带的备件经常会出现“带的用不上, 用的没有带”的困境。从 20 世纪 90 年代开始, 国内一些专家学者开始了对战时备件优化问题的研究, 取得了不少成果, 但研究对象也仅限于飞机、坦克、舰船、火炮和雷达等装备^[1-4], 对通信装备的研究相对较少。

通信装备是信息化武器装备的重要力量, 主要由电子线路板(包括集成电路和各种分离元件)和微电脑处理器等部件构成。我军“十五”后的通信装备绝大多数采用模块化结构设计, 战时通信装备出现故障时, 迅速将故障定位至某个功能板卡、模块或易于更换的零部件, 换上相应的备件, 使通信装备恢复正常工作。通信装备随装备件是指配备于通信装备台站处, 随装备机动转移, 易于更换的供装备战损时抢修使用的模块或其它易于更换的零部件。随装备件配置的种类和数量过少, 有可能不能满足装备的抢修需求, 导致战损装备不能迅速修好,

造成战场信息不能及时传递, 从而贻误战机; 配置过多则造成携行负担, 影响部队和通信装备的机动能力。战时通信装备的优化采用基本功能项目分析方法确定通信装备随装备件品种; 同时以通信装备零部件的损坏率衡量战场影响通信装备备件数量的因素建立优化模型, 采用遗传算法进行求解。该方法可对战时通信装备随装备件的携行量进行优化。

1 基本功能项目的分析及备件品种的确定

基本功能项目分析就是区分并确定基本功能项目, 进行层次分析, 确定最低约定层次的过程, 也称基本项目分析。基本项目是指那些受到损伤将直接导致对作战任务、安全生产直接致命性影响的项目。基本功能项目的损伤是直接导致任务不能完成, 而不是某种程度的减弱^[5-6]。

对于通信装备, 作战前根据作战想定和作战任务确定装备所需完成的基本功能, 从而对装备进行基本功能项目分析, 确定哪些模块或零部件的战损会直接导致装备无法完成所赋予的基本任务, 战时就必须携带相应的备件, 由此确定所需备件的种类。确定好基本功能项目后, 将该装备看成是由这些基本功能项目串联组成的系统, 即只要一个部件发生故障, 整个装备就将无法正常工作。因此, 对每种零部件配置的随装备件数量都必须满足该部件的完

收稿日期: 2010-10-09; 修回日期: 2010-12-09

作者简介: 李文元(1964—), 男, 陕西人, 硕士, 副教授, 从事通信装备保障与通信装备抗干扰研究。

好性要求,从而保证整个装备的完好性。

2 战时通信装备随装备件数量优化模型

确定好备件种类后,根据作战想定和作战地区的环境对每种零部件的损坏率进行模拟计算,由每种零部件的损坏率确定所需携带备件的数量。为便于理论研究,作如下假设:

- 1) 只考虑随装备件的优化问题,将维修级别限制在基层级,抢修方式均采用换件修理的方式;
- 2) 通信装备战前处于完好状态;在战争持续阶段的储运过程中,备件始终处于完好状态;
- 3) 多部件损坏为相互独立事件;
- 4) 不考虑装备之间维修备件互相拼凑使用的情况。

2.1 问题的描述

备件的优化是指既要使装备满足一定的作战要求,又要使所携带的备件数量和种类合理。因此,笔者选择通信装备的战备完好性和费用约束作为优化的目标。战备完好性是指装备在使用环境下处于能执行任务的完好状态的程度或能力,以战备完好率为衡量标准。费用问题在战场条件下不应该被作为重点因素考虑,笔者仅将费用约束作为衡量备件种类和数量的约束目标,即备件携行量越少,保障费用越低。综上所述,通信装备备件优化模型可以描述为在满足一定装备完好率的条件下,尽可能少地配置备件的种类和数量,降低备件的费用,寻求装备完好性和费用之间的最佳平衡,即最优解。

2.2 模型的建立

将战时通信装备备件的消耗看作服从参数为 λT 的泊松分布^[7],其中, λ 为某一部件的损坏率,可根据具体作战想定或计算机模拟获得。 T 为作战持续时间,这里 T 指装备开机时间,不包括某些特殊情况下的无线电静默时间或停机时间。

设某一通信装备由 n 个基本功能项目单元组成,第 i 种备件的损坏率为 λ_i ,则其需要 k 个备件的概率为:

$$p(k) = \frac{e^{-\lambda_i T} (\lambda_i T)^k}{k!} \quad (1)$$

定义 EBO_i 为第 i 种备件的期望缺货数^[8],根据第 i 种备件的配置数 x_i 和式(1),计算出当实际需求备件数 k_i 大于 x_i 时的备件期望缺货数:

$$EBO_i = \sum_{k_i=x_i+1}^{\infty} (k_i - x_i) p(k_i) \quad (2)$$

定义 α_i 为备件缺货率,则

$$\alpha_i = \frac{EBO_i}{x_i} \quad (3)$$

若 $\alpha_i > 1$,则认为第 i 种备件的配置数 x_i 过少,应在此基础上再多配置一个备件进行后续计算。

以同样的方法可以计算出其它种类备件的期望缺货率,因此,整个通信装备的完好率可表示为:

$$A(X) = \prod_{i=1}^n (1 - \alpha_i) \quad (4)$$

当所求装备完好率 $A(X)$ 大于或等于0.9时,可以认为该装备所有备件的携行数量为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 时,可满足装备在作战期间的完好性。

备件费用可描述为:

$$C(X) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (5)$$

式中, $C(X)$ 为备件总费用, c_i 为第 i 种备件的单价。

综上所述,要建立的战备完好性和费用约束模型可表示为:以通信装备备件保障总费用为目标函数,以通信装备完好率为约束条件,即在装备战备完好率满足一定条件的基础上使备件保障费用最少:

$$\begin{aligned} \min C(X) \\ \text{s.t. } A(X) \geq A_0 \\ X \in Z, x_i > 0 \end{aligned} \quad (6)$$

其中, A_0 为某次作战中要求装备战备完好率的最低值, Z 为解空间且 x_i 取整数。

3 模型的求解

3.1 遗传算法原理

遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是一种基于生物自然选择与遗传机理的随机搜索算法,从一组随机产生的称为“种群”的初始解开始搜索过程,种群的每个染色体是问题的一个解,这些染色体在后续迭代中不断进化,在每一代采用“适应度值”来衡量染色体的好坏,后代染色体是由前代染色体通过交叉或变异运算形成的。在新一代形成过程中,根据适应度的大小选择部分后代,淘汰部分后代,适应度值高的染色体被选中的概率较高,这样经过若干代之后,算法收敛于最好的染色体,它可能就是问题的最优解或次优解^[9]。遗传算法求解过程如图1。

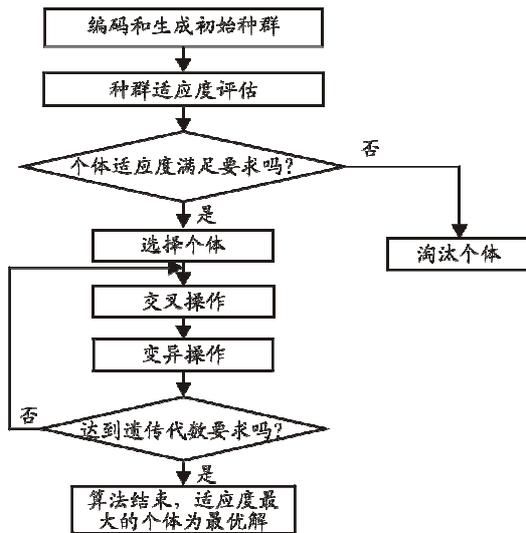


图 1 遗传算法求解过程

3.2 模型求解过程

3.2.1 染色体编码，初始种群的设定

遗传算法不能直接处理空间的解数据，而是通过编码将其转换成按一定结构组成的具有一定基因型的染色体，从而通过对遗传算子的操作不断增进种群的适应性，提高个体的生存能力，最终求得最优个体，将其解码得到问题的最优解。

战时通信装备随装携带的备件种类不多，备件数量也在 0~15 之间，且取整数，利用二进制编码方式会增加运算量，不便于求解。因此笔者采用实值编码方式。每一个染色体由一个解向量表示，染色体向量长度与解向量相同，若以 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 表示某一解向量，则相应的染色体可表示为 $V = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，其中， x_i 为第 i 种备件的配置数量， n 为备件种类数。

初始种群通过在 [0,15] 之间随机产生染色体，通过适应度函数确定每个染色体的合法性，对于不合法的染色体予以淘汰，直至产生 pop_size 个合法染色体。pop_size 为种群规模。

3.2.2 适应度函数的确定

对于文中的数学模型，优化的目标是求解目标函数的最优解，因此考虑以式 (3) 作为适应度函数的评价函数，通过计算返回不同的评价值，可描述为：

$$eval(V_l) = \begin{cases} 0, & A(V_l) = \prod_{i=1}^n (1 - \alpha_i) < 0.9 \\ 1, & A(V_l) = \prod_{i=1}^n (1 - \alpha_i) \geq 0.9 \end{cases} \quad (7)$$

其中， V_l 表示第 l 个染色体，即第 l 个备件配置方案。若 $eval(V_l) = 0$ 则淘汰该染色体。若 $eval(V_l) = 1$ ，则保留该染色体，进行遗传操作。

3.2.3 遗传操作

1) 选择操作

选择操作采用赌轮选择机制，即染色体的适应度值越高，每次被选择的概率就越大，通过计算所有染色体的适应度值，将其按大小依次排序，以 0.5 的选择概率选择前 pop_size × 0.5 个染色体直接进入下一代种群。

2) 交叉操作

当染色体长度在十个以内时采用单点交叉法，多于十个采用多点交叉法，将选择操作中进入下一代种群的多个染色体两两进行随机交叉操作，对于新产生的染色体个体仍然要进行适应度值合法性检验，不合法的予以淘汰，直至总的染色体数目达到 pop_size 个。

3) 变异操作

将新的种群中的染色体以 0.1 的概率进行变异操作，即随机选择 pop_size × 0.1 个染色体，染色体长度在十个以内随机变异一个基因位，多于十个随机变异两个基因位。将变异基因位用 [0,15] 内随机产生的数替代，产生新的染色体并进行合法性检验，不合法的染色体将被淘汰，重新进行变异操作，直至产生合法的染色体。

3.2.4 终止条件和结果

将以上遗传操作进行循环迭代，直至达到设定的最大迭代次数。将适应度函数值最大的染色体作为最优解输出，得到结论。

4 结束语

该方法通过分析通信装备战时的基本任务确定备件种类，以通信装备战备完好性和备件费用作为约束条件建立模型，给出了遗传算法的求解思路。该方法在满足一定装备完好性的基础上可以保证备件携行量最少，有利于战时通信装备维修的精确化和科学化。

参考文献：

[1] 张建宇, 韩国柱, 陈明. 武器系统备件储备量的遗传算法求解[J]. 军械工程学院学报, 2005, 17(3): 36-38.
 [2] 聂涛, 盛文, 马明权. 雷达可修复备件优化配置研究[J]. 现代雷达, 2009, 31(11): 25-28.

[3] 刘喜春. 不确定需求下航空备件多阶段供应保障规划模型及动态协调机制研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2009.

[4] 刘源, 陈云翔, 周中良, 等. 基于可用度和费用要求的航材备件储备量优化[J]. 空军工程大学(自然科学版), 2009, 10(6): 15-18.

[5] 王润生, 刘利, 王志成, 等. 战场损伤分析过程研究及其应用[J]. 军械工程学院学报, 2003, 15(2): 14-19.

[6] 李建平. 战场抢修理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000: 25-26.

[7] 孙洪祥. 随机过程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 132-136.

[8] 刘喜春, 郑华, 仲辉, 等. 备件配置优化问题研究[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(10): 1934-1937.

[9] 邹明, 姜礼平, 苏思. 基于遗传算法的航空装备保障资源调度[J]. 兵工自动化, 2009, 28(11): 24-26.

(上接第13页)

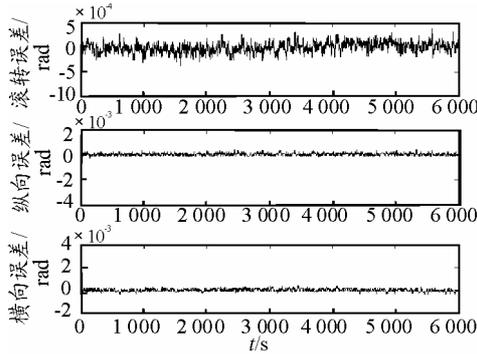


图6 信号连续模式导航系统的姿态误差

图4~图6给出信号连续模式下组合导航系统的位置、速度、姿态误差曲线。可以看出, 当传感器均工作正常时, 可提供的位置精度优于10 m, 速度精度优于0.2 m/s, 姿态精度优于 4×10^{-4} rad。

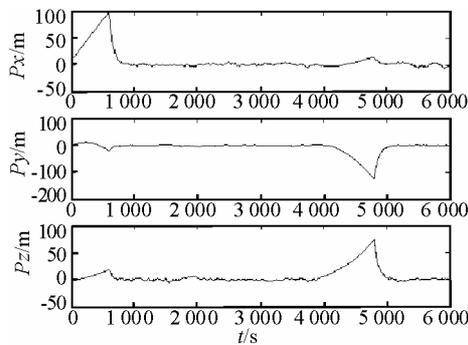


图7 信号中断模式导航系统在x、y、z方向的位置误差

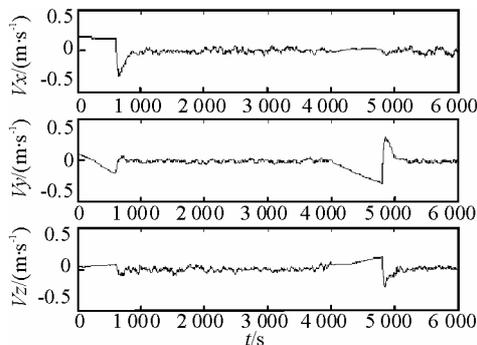


图8 信号中断模式导航系统在x、y、z方向的速度误差

图7~图9给出信号中断模式下组合导航的位

置、速度、姿态误差曲线。可以看出, 当外部传感器对SINS没有修正时, 导航解算误差随时间不断增大, 一旦检测到修正信号, 组合导航系统能够迅速而准确的估计出飞行器的状态并进行反馈。综上所述, 仿真计算显示系统能满足航天器的导航要求。

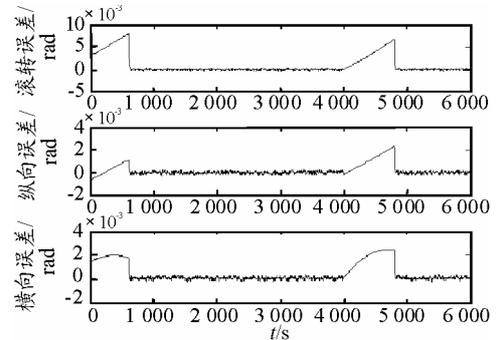


图9 信号中断模式导航系统的姿态误差

4 结论

仿真结果表明, 该导航方案能够为航天器提供高精度的测量与导航信息, 可为航天器导航系统的设计提供一定的参考。而对于GPS信号的电离层延迟、多路径效应、误差模型简化等方面, 则考虑不完全, 将在未来的工作中进行研究。

参考文献:

[1] Elchynski, Joseph, e.a., Development and Test Result of a Precision Approach and Landing Capability for Military Aircraft Using an Embedded GPS/INS (EGI) System[C]. Proceedings of IEEE Position Location and Navigation Symposium.

[2] David E. Gaylor, E. Glenn Lightsey. GPS/INS Kalman Filter Design for Spacecraft Operating in the Proximity of the International Space Station[R]. AIAA.3rd, 2003.

[3] Hélène Blachère, Non Real-Time Simulator Dedicated to ATV GNC Nominal Algorithms Validation[R]. AIAA 2003-5822.

[4] 廖瑛, 冯向军, 文援兰, 等. 卫星星座导航数学仿真系统及其关键技术研究[J]. 系统仿真学报, 2008(9).

[5] Christophe Veltz. Numerical simulator dedicated to validation of ATV safety algorithm[R]. AIAA 2002-4966.

[6] 邓正隆. 惯性技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.