

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.10.009

基于排队论的战时工程装备抢修任务调度

王小飞, 苏凡圉, 王海涛, 钟晓谷
(解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007)

摘要: 针对战时工程装备抢修调度方案不合理的问题, 运用排队论的原理和方法对战时工程装备抢修任务进行建模。结合战时实际特点, 对不同排队模型效率进行对比, 将战损的工程装备队列进行优先权等级划分, 以工程装备完好率为目标, 确定配置维修小组的最小数量, 实现了战时工程装备抢修任务调度的优化, 并以实例进行计算分析。分析结果表明, 该模型是可行的, 能实现排队策略的优化。

关键词: 排队论; 工程装备; 抢修任务; 调度

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Repair Scheduling of Engineering Equipment in Battlefield Based on Queuing Theory

Wang Xiaofei, Su Fantun, Wang Haitao, Zhong Xiaogu
(Engineering College of Engineering Corps, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: Aiming at the bad repair scheduling of engineering equipment in battlefield, use the queuing theory and method to establish the repair task model. Combining with actual conditions in battlefield, realize the queuing model optimum by comparing the efficiency of different model. The priority of damaged engineering equipment was divided into levels, confirm the minimum of repair group by the intact rate of engineering equipment, realized the optimization of repair scheduling in battlefield, and use example to calculate and analyze. The analysis results showed that the model can realize the optimization of queuing theory.

Key words: queuing theory; engineering equipment; repair task; scheduling

0 引言

工程装备担负着现代战场建设, 保障部队机动和反机动的重要任务。当前, 工程装备保障需求呈现多样化的特征, 抢修任务十分繁重, 对抢修机构的抢修保障能力提出了严峻的挑战。传统的抢修任务调度方案主要依据经验, 缺乏理论依据, 相应的评估机制也缺乏科学性。文献[1]对队列优先权只作简单的加权, 不能满足对战时工程装备抢修任务的精确计算; 文献[2]对于排队策略的选择没有作相应说明, 对排队系统中的参数分析不够全面; 文献[3-5]中排队论原理及相应模型, 能对战时工程装备定点抢修任务调度进行建模, 合理分配作业资源, 规划抢修作业流程。笔者针对排队论多任务情况下维修保障资源受限问题, 在参考文献[3-5]的基础上, 对战时具有优先权的工程装备抢修任务排队调度策略进行优化。

1 抢修任务分配模型分析

1.1 模型描述

资源、设备或空间的有限性与需求无限的矛盾

是排队现象的主要因素, 而维修机构的管理水平和维修人员作业效率低等问题加剧了这个矛盾。战时, 需要抢修的工程装备超过维修部门的容量, 到达的装备不能立即得到维修, 因而出现了排队现象, 工程装备与抢修小组就构成一个排队系统, 可用框图表示这类排队过程, 如图 1 所示。

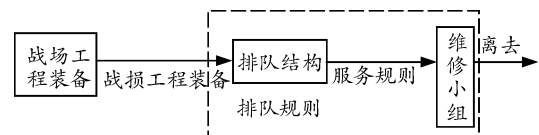


图 1 工程装备排队模型框图

战役级抢修机动小组的作用是在一定的作战要求下, 对所属战役军团中的部队抢修任务加强支援, 从而满足作战指挥部门的要求^[3]。以某战役军团工程兵部队, 对工程装备实行定点抢修的方式为例, 现有 c 个抢修机动小组, 要完成 n 项抢修任务, 工程装备修理机构抢修任务分配流程如图 2 所示。

如何在有限的保障资源条件下, 通过运用信息化手段, 准确掌握战时工程装备保障需求, 以最小的保障资源达到最大的保障能力已成为我军面临的

收稿日期: 2012-05-02; 修回日期: 2012-06-08

作者简介: 王小飞(1988—), 男, 山东人, 硕士研究生, 从事装备保障研究。

难题之一。

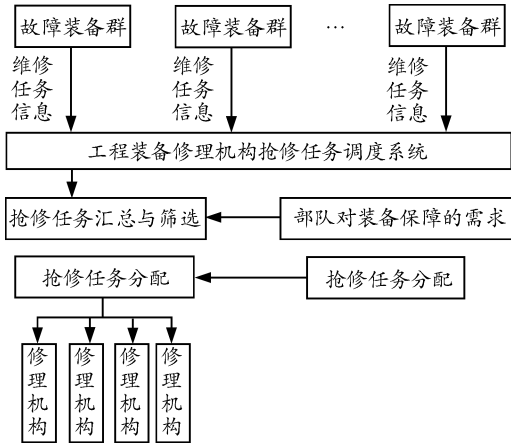


图 2 工程装备修理机构抢修任务分配流程图

1.2 模型假设

根据输入过程、排队规则和服务机制的变化对排队模型进行描述和分类,可给出很多的排队模型。为了方便对众多模型描述, D. G. Kendall 提出了一种目前在排队论中被广泛采用的“Kendall 记号”,其一般形式^[1]为

$$X/Y/Z/A/B/C$$

其中: X 表示顾客相继到达时间间隔的分布; Y 表示服务时间的分布; Z 表示服务台的个数; A 表示系统的容量; B 表示顾客源数目; C 表示服务规则。

根据实战统计数据,工程装备抢修模型定义为:

- 1) 工程装备的故障率服从泊松分布;
- 2) 工程装备送至抢修小组的时间间隔服从泊松分布;
- 3) 发生故障的工程装备修理时间服从负指数分布;
- 4) 抢修小组的抢修规则选用非强占优先 (PR) 的原则;
- 5) 同一优先级别的工程装备采用先到先服务 (FCFS) 原则;
- 6) 在定点保障中, 抢修小组多的情况比抢修小组少的情况抢修的工程装备多。

定点抢修保障小组在工程装备比较集中的路线或修理任务较集中的地域设抢修点, 保障过程中, 战区内的工程装备总数量是有限的, 战损工程装备是随机到达, 队列长度无限制, 采用非强占优先修理的方式。这样, 就把问题转化成 $M/M/c/\infty/m/PR$ 型排队系统。

2 排队论调度模型的建立

2.1 基本参数的确定

在战时工程装备抢修中, 各抢修小组的抢修任务相互独立, 首先要提出抢修小组在任意时刻 t 有 n 个抢修任务的概率 $P_n(t)$, 它决定了整个抢修小组运行的特征。工程装备平均到达率为 λ , 平均抢修率 $\mu_1=\mu_2=\dots=\mu$ 。设战区工程装备的数量 m 是有限的, 有 c 个抢修小组, 且 $m>c$ 。当 $n\leq c$ 时, 所有的战损工程装备都在被抢修, 有 $(c-n)$ 个抢修小组空闲; 当 $c<n\leq m$ 时, 有 $(n-c)$ 台工程装备排队, 系统的状态概率 P_0 求得如下:

$$P_0 = \frac{1}{m!} \cdot \frac{1}{\sum_{k=0}^c \frac{1}{k!(m-k)!} \left(\frac{c\rho}{m}\right)^k + \frac{c^c}{c!} \sum_{k=c+1}^m \frac{1}{(m-k)!} \left(\frac{\rho}{m}\right)^k} \quad (1)$$

其中维修小组的维修强度 $\rho = \frac{m\lambda}{c\mu}$

$$P_n = \begin{cases} \frac{m!}{(m-n)!n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 & (0 \leq n \leq c) \\ \frac{m!}{(m-n)!c!c^{n-c}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 & (c+1 \leq n \leq m) \end{cases} \quad (2)$$

战损工程装备的平均台数:

$$L_s = \sum_{n=1}^m nP_n \quad (3)$$

$$L_q = \sum_{n=c+1}^m (n-c)P_n \quad (4)$$

式中: L_s 为系统中战损工程装备的平均数, L_q 为系统中等待维修的战损工程装备平均数。

有效的到达率 λ_e 应等于每战损工程装备的到达率 λ 乘以在系统外 (即完好的工程装备) 工程装备的期望数:

$$\lambda_e = \lambda(m-L) \quad (5)$$

其他参数计算如下:

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu}(m-L) \quad (6)$$

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda_e} \quad (7)$$

式中: L_s 为系统中有效战损工程装备的平均数; W_s 为战损工程装备逗留的期望时间。

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda_e} \quad (8)$$

其中 W_q 为战损工程装备的等待时间。

引入工程装备平均完好率:

$$\eta = \frac{(m - L_s)}{m} \times 100\% \quad (9)$$

式中 η 表示正常工作的工程装备与所有工程装备数的比值, 反映抢修保障效率。

2.2 抢修排队策略的确定

战时定点抢修保障中, 有 c 个抢修小组, 为了减少队列中工程装备的等待时间, 提高抢修效率, 要合理地安排排队策略。一种方案: 约定只有一个队列, 只要有空闲的抢修小组, 在队列中的工程装备就可以实施抢修; 第二种方案: 每个抢修小组前都排有一个队列, 只要对应的抢修小组空闲, 队列中的工程装备即可实施维修。

假设定点保障中有 $c=3$ 个抢修小组, 战损的工程装备服从 $\lambda=0.3$ 的泊松分布, 各抢修小组的平均服务率 $\mu=0.4$, 2 个策略的各参数如表 1 所示。

表 1 2 种模型目标参量比较

参数	$c=3$	$c=1$
P_0	0.074 8	0.25 (每个子系统)
L_q	1.7	2.25 (每个子系统)
L_s	3.95	9.00
W_s	4.39	10
W_q	1.89	7.5

由数据分析可得, 只有一个排队序列的策略(即 M/M/1 系统), 等待时间短, 空闲率低, 系统总的工作效率较高, 比在每个抢修小组前设一个排队序列(即 M/M/3 系统)有显著的优点, 在战时抢修策略的制定时, 应改用该策略, 排队模型如图 3 所示。

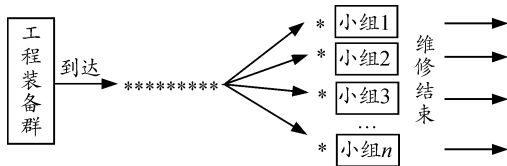


图 3 M/M/n 排队等待制模型

2.3 有优先权的排队模型

战时的工程装备抢修任务, 由于各个装备执行的任务不同, 重要等级也有所不同, 在制定抢修策略时, 不能单纯地考虑先到先维修的模式。在分配作战任务的同时, 应将工程装备的等级作出明确的划分^[6]。一旦优先级别高的工程装备战损, 在排队序列中也拥有优先维修的权利, 这将对战争的顺利进行提供有力的保障。

将工程装备抢修优先级别定义如表 2 所示。

表 2 工程装备维修优先级划分

紧急程度	含义	优先级
非常紧急	工程装备所执行的任务对战争的影响非常大	1
紧急	工程装备所执行的任务对战争的影响比较大	2
一般	工程装备所执行的任务对战争的影响一般	3

记排队等待抢修的第 1 级工程装备平均数为 L_{q1} , 则该级工程装备所占用的总时间为

$$\bar{S}_1 L_{q1} = \rho_1 W_{q1}$$

其中 $\bar{S}_c = E(S_c)$ 。

$$W_{q1} = \frac{\lambda E(S^2)}{2} \cdot \frac{1}{\rho_1} \quad (10)$$

设新到战损工程装备拥有 r 级优先权, 那么, 它的等待时间由以下 3 部分组成。

1) 正在排队等待抢修的第 1 级至第 r 级工程装备的平均服务时间之和 T_1 。

$$T_1 = \sum_{i=1}^r \rho_i W_{qi}$$

2) 等待正在抢修的抢修小组空闲的平均时间 T_2 。

$$T_2 = \rho \bar{S}_c$$

3) 在新到第 l 级工程装备排队等待期间, 陆续到达的第 1 至 $l-1$ 级工程装备优先插队造成的平均耽误之和 T_3 。

$$T_3 = W_{q1} \sum_{i=1}^{r-1} \rho_i$$

$$W_{q1} = T_1 + T_2 + T_3 = \frac{1}{(1 - \sum_{i=1}^r \rho_i)(1 - \sum_{i=1}^{r-1} \rho_i)} \cdot \frac{E(S^2)}{2} \quad (11)$$

3 实例分析

某战区, 共有工程装备 $m=80$ 辆, 其中执行非常紧急任务的数量为 10 辆, 比较紧急任务的数量为 20 辆, 一般任务的数量为 50 辆。要保证这些工程装备平均完好率在 $\eta=85\%$ 以上, 求需要配备抢修小组数, 和排队序列的各项参数。已知 $\lambda=0.3$ 辆/h, $\mu=4$ 辆/h。

根据平均完好率 $\eta \geq 85\%$, 可求得无战损的工程装备至少要达到 68 辆, 即平均队长 L_s 的最大值为 12 辆。计算得各参数如表 3。

表 3 战损工程装备各参数计算结果

c	$\eta/\%$	L_q	W_s	W_{q1}	W_{q2}	W_{q3}
2	33	51.3	6.7	16.2	19.1	22.8
3	50	37.0	3.4	7.2	8.5	10.1
4	67	22.7	1.7	4.1	4.8	5.7
5	82	9.9	0.7	2.6	3.1	3.7
6	89	3.4	0.4	1.2	2.1	2.5

由表 3 可见，该系统运行良好，当服务小组数 $c=6$ 时， $\eta=89\%$ ，满足抢修任务需要。

4 结束语

实例结果证明：该模型可用于装备抢修小组的优化配置决策，为指挥员提供科学的决策依据。在实际应用中，对于工程装备战损一些参数的确定往往由经验得出，很难科学准确地确定相关参数；战场环境也是不断变化的。下一步，笔者将针对这些

(上接第 24 页)

使用万能工具显微镜、MPTM-MIED 和 Canny 对图 6 所示的线切割零件进行测量，测量结果见表 3 所示。

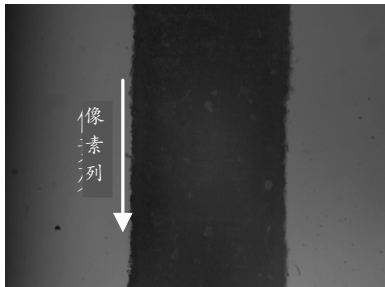


图 6 线切割零件图像

表 3 线切割零件测量结果 mm

序号	万能工具显微镜 零件宽度	MPTM-MIED 零件宽度	Canny 算子 零件宽度
1	0.738	0.738 7	0.739 4
2	0.736	0.736 1	0.736 8
3	0.739	0.738 2	0.742 1
4	0.736	0.736 8	0.734 2
5	0.737	0.737 1	0.735 5

从表 3 可以看出：与 Canny 算子相比，MPTM-MIE 的测量结果更接近万能工具显微镜测得的结果。

5 结论

笔者提出依据微小型结构件的加工工艺，通过采取特征建模、统计法获得边缘点位置的检测方法；并且通过分形理论分析同类工艺方法边缘图像的相

问题做进一步研究。

参考文献：

- [1] 张会宾. 基于排队论的车辆维修保障中维修小组个数优化[J]. 兵工自动化, 2007, 26(2): 20-22.
- [2] 林健, 马振书, 黄刚, 等. 基于排队论的可修件维修模型[J]. 价值工程, 2011(7): 32-33.
- [3] 周亦非. 新编军事运筹学[M]. 北京: 军事科学出版社, 2010.
- [4] 陆传贵. 排队论[M]. 2 版. 北京: 北京邮电大学出版社, 2009.
- [5] 唐应辉, 唐小我. 排队论 - 基础与应用[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2000.
- [6] 刘伟, 徐航, 石全. 战时装备维修等级划分研究[J]. 兵工自动化, 2007, 26(6): 23-24.

似程度，验证了新的边缘识别算法的普遍适用性。该检测算法检测精度较高，识别的边缘达到亚像素级。实验标准样件采用零级精度 1 mm 量块，检测误差为 0.395 μm ，满足微小结构件精密检测需要。

参考文献：

- [1] 刘志兵, 王西彬, 谢丽静, 等. 微小型结构件的微细切削技术[J]. 工具技术, 2008, 42(3): 19-23.
- [2] 王向军, 王峰. 显微精密成像与微型机械尺寸检测技术[J]. 光学精密工程, 2001, 19(6): 511-513.
- [3] Nixon M S, Aguado A S. Feature Extraction and Image Processing[M]. United Kingdom. Academic Press: 2nd ed. 2008: 60-124.
- [4] 田永刚, 董毅. 小波多尺度分割算法在细胞图像上的应用[J]. 计算机仿真, 2011, 28(11): 255-301.
- [5] 陈颖, 蒋远大, 孙志斌. 基于滤波的小波显微图像融合[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(6): 1316-1319.
- [6] 陶雪容, 孙兴波, 汤秀华. 基于融合的显微图像 Gabor 边缘提取算法[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(4): 798-804.
- [7] Su T C, Yang M D, Wu T C. Morphological Segmentation based on Edge Detection for Sewer Pipe Defects on CCTV Images[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(10): 13094-13114.
- [8] 杜芳. 基于显微视觉的小模数渐开线直齿轮检测方法研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2009: 37-38.
- [9] 张之敬, 杜芳, 金鑫, 等. 微小尺寸零件复杂边缘识别算法[J]. 光学精密工程, 2009, 17(2): 355-361.
- [10] 肯尼思. 法尔科内. 分形几何-数学基础及其应用[M]. 北京: 东北大学出版社, 2001: 45-104.