

# 基于Petri网的通信装备战场抢修系统模型研究

李长勇

重庆工程学院电子信息学院, 重庆  
Email: lichyong2008@163.com

收稿日期: 2020年10月8日; 录用日期: 2020年10月23日; 发布日期: 2020年10月30日

---

## 摘要

为了提高维修保障效能, 本文利用Petri网方法对通信装备战场抢修系统建模仿真, 分析了一定战术背景下如何配置初始备用装备数和备用模块数以满足任务装备完好率。

## 关键词

Petri网, 系统模型, 仿真, 完好率

---

# Research on System Model of Communication Equipment Rushing Repair in Battlefield Based on Petri Net

Changyong Li

Chongqing Institute of Engineering, Chongqing  
Email: lichyong2008@163.com

Received: Oct. 8<sup>th</sup>, 2020; accepted: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2020; published: Oct. 30<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

In order to improve the maintenance support effectiveness, the Petri-Net system model of Communication Equipment rushing repair in battlefield is established in this paper. This model can be run to get the relationship of good condition ratio of mission equipment and original store number and original store component number.

## Keywords

Petri Net, System Model, Simulation, Good Condition Ratio

---



## 1. 引言

Petri网是由德国Petri博士在1962年提出的研究信息系统及其相互关系的数学模型。Petri网以图的形式,简洁、直观地描述和模拟离散事件动态系统,分析系统的动态性质,易于在所构造的模型基础上直接实现控制系统[1],目前Petri网方法的应用已经遍及众多领域,Petri网在模型流程化行为的优化方面有着重要的应用价值,文献[2]基于Petri网的基础理论,优化门诊流程建模,对缩短就诊时间,提高就诊可靠性,准确性,快速性等都有着巨大的作用。文献[3]提出一种基于Petri网的配电网故障模式辨识方法,对基于Petri网的故障区段定位的电压判据进行了简化,使其只需要利用区段两侧的测量点信息就能进行区段定位。文献[4]基于Petri网和行为轮廓的相关理论知识,对具体的在线定购电影票流程进行建模,并提出一种添加配置信息的业务流程优化方法。Petri网在模型还有用在改善企业实施ERP业务流程[5]以及机器人小臂装配线建模[6]等方面。

有学者应用Petri网技术对通信装备维修保障系统进行过研究:文献[7]报道应用CPN网工具对装备两级维修保障系统进行建模并进行了仿真,提出了维修人员方案的合理配置;文献[8]运用有色Petri网的建模理论对导航装备维修保障系统进行了描述和建模并仿真,得到了某型无线电导航装备实施维修保障的修复率;文献[9]中应用Petri网对军用飞机使用维修保障进行了建模;文献[10]通过调整和优化通信装备维修保障系统中各类资源配置,对战时通信装备维修保障系统进行分层次建模,分析得出通信装备最短的维修时间。

本文研究并仿真分析了在一定战术背景下,保证任务装备的完好率,如何进行初始备用装备和备用部件数量配置问题,以有效消除过程瓶颈,提高保障效能。

## 2. 通信装备战场抢修内容及要求

军事活动可区分“平时”与“战时”。装备的维修保障是装备生命周期中的重要一环。“战时”维修保障机构配置,可以建立“前沿修理所”和“后方修理所”两级机构,前沿修理所承担战场抢修的任务,具备“平时”基层级中继级维修功能,以最快时间完成战损评估和装备功能恢复,维修以模块更换为主(通信装备结构都是以模块化结构,一种装备由若干个模块组成);后方修理所承担“平时”基地级维修任务,与“平时”不同的是要求最快时间完成模块及元件的修复。

本文讨论战场抢修的系统流程主要涉及到装备执行任务阶段和在前沿修理所进行的维修保障阶段。战场抢修内容包括装备损伤的评估(故障诊断)与损伤的修复。战场损伤的评估,是指对战损装备(包括自然故障、人为故障等)迅速确定损伤部位和功能损失程度、可否进行模块更换修复、修复时间等。抢修类型有:切换、切除、重构、拆换、替代。“切换”适用于有参数配置一致的备用装备且处于作战环境下;“切除”适用于基本部件与非基本部件易于分开的装备;“重构”适用于系统或需要初始设置的装备;“拆换”也称拆拼,指同型装备板件间一般可以互换;“替代”适用于天线、各类引线、保险丝和附件等。

战时装备由战损原因比平时故障率高,同时要保证执行战斗任务的装备的完好率,要求对故障的诊断和恢复及时,所以抢修场所内应配置完善的故障快速检测设备和足够的可更换的备件或整机装备。本文研究的问题是基于一任务装备和前沿修理所内初始备用装备和备件配置问题。

## 3. 通信装备战场抢修系统模型

结合抢修内容和要求,建立通信装备战场抢修模型如图1所示。考虑一定的战术背景,对所要分析

的系统做如下设定，参数值可以根据实际情况进行调整：

- 1) 通信分队执行战斗任务时限 24 小时；每一定时间(如 30 分钟)出现一次“战损装备”，“任务装备”损伤后，送修的同时(或直接维修)也从“备用装备库”中得到补充，执行任务装备为 100 部。
- 2) 对战损装备处理如下：其中 50%可通过模块更换进行修复，假设一个战损装备每次只有一个模块受损，更换后的模块待战斗任务结束后送维修或报废处理。另外 50%战损装备进行报废处理，进行报废处理的战损装备中有 30%的模块可再利用；在模块维修中，有 10%的模块报废。
- 3) 送修耗时 10 分钟，检查耗时 10 分钟，更换模块耗时 10 分钟，维修耗时 20 分钟。

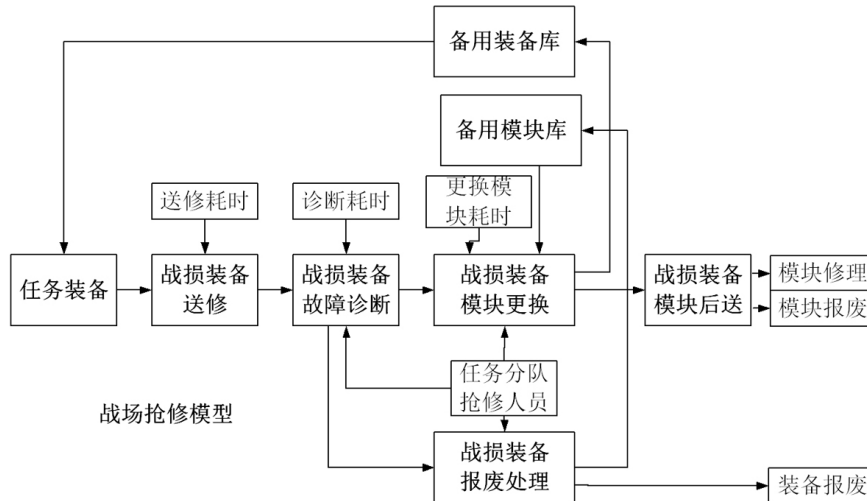


Figure 1. Battlefield repair model of communication equipment  
图 1. 通信装备战场抢修模型

结合战场抢修模型，建立基于 Petri 网仿真工具 CPN-Tools 的战场抢修模型如图 2 所示。Petri 网模型与图 1 的结构基本对应，模型中主要有两种元素：库所(place)和变迁(transition)，分别用椭圆和方框表示。库所“working radio”，“waiting radio”，“waiting component”分别表示“执行战斗任务的装备”、“备用库中的装备”、“模块备用库”。模型中有“装备送修”、“装备故障诊断”、“装备模块更换”，分别用变迁“send”，“checking”，“maitance”表示。

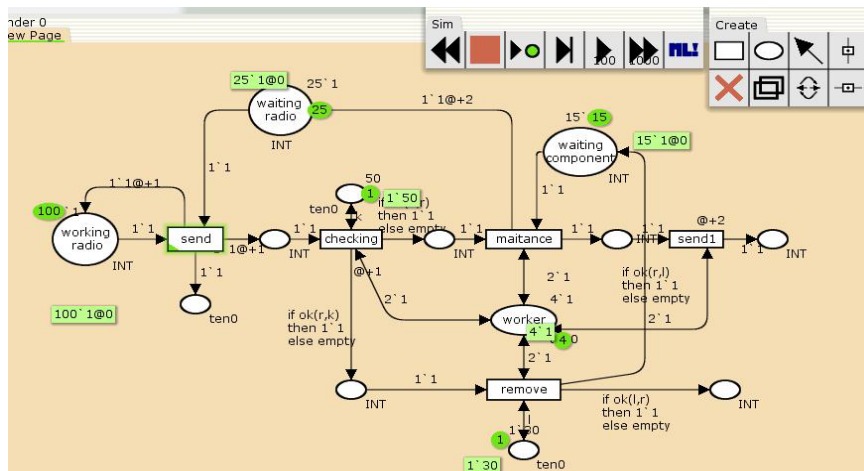


Figure 2. Petri Net model for battlefield repair  
图 2. 战场抢修的 Petri 网模型

变量及函数定义如下:

```
colset INT = int timed;
colset ten0 = int with 0..100;
colset ten1 = int with 1..100 declare ran;
var k,l,m: ten0;
var n:INT;
fun ok(r,k) = (r <= k);
var r:ten1;
```

模型中送修耗时、检查耗时、更换模块耗时、维修耗时按要求设置。Petri 网模型中,在进行每故障装备送修的同时,从装备备用库中补充一个装备到战斗中。补充装备到战斗中在模型中增加了一个时延单位(一个时间单位为 10 分钟),从“send”到“working radio”的弧上用@+1 表示。装备的送修时延也在“send”的输出弧上表示,检查耗时由变迁“checking”体现,更换模块耗时由变迁“maitance”到库所“waiting radio”的弧上时延表示。

#### 4. 仿真结果

通过以上模型及给定条件利用仿真分析不同初始人员数量,装备备用库中不同初始装备数量,模块备用库中不同的初始模块数量(每种模块都应有一个初始备用数量)时模型运行情况,并统计更换模块总耗时,维修模块总耗时。模型运行结束条件是装备备用库中已没有装备可以补充为止,记下总共出现送修装备的次数。

仿真分析可知总维修人员 4 人以上即可满要求,增加人数对结果没有多大影响,这是忽略了实践过程中人员的体力精力恢复过程(认为一个人可以连续工作 24 小时),可以根据实际工作需要具体修正。如要求人员的工作时间为 12 小时,配备 8 人。模型中的时间设置可保障 100 部执行任务装备的要求。

仿真结果主要考查装备初始备用数和模块初始备用数对保障能力的影响。图 3 给出了初始备用装备(模块)与战场保障装备数和可保障装备数的关系曲线,可保障装备数为 24 小时内可以得到补充的保障故障装备频次平均值。

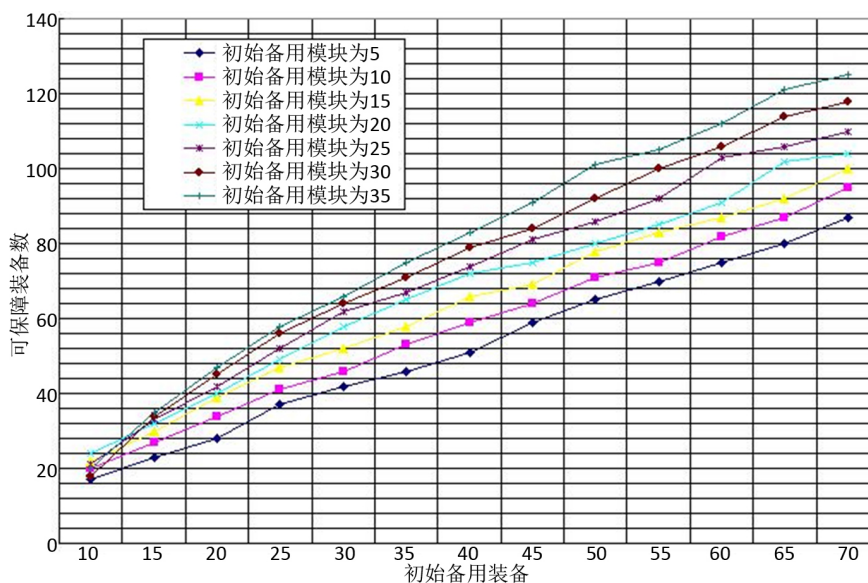


Figure 3. The curve of the relationship between initial standby equipment and module and the number of supporting equipment

图 3. 初始备用装备和模块与保障装备数关系曲线

例如：在初始装备备用库为 55 部，备用模块库为 10 块时，可保障装备数为 75：其含义为：在这种备用装备和模块条件下，可以 24 小时以内保障 75 部战损装备得到补充。如 30 分钟出现一部故障装备，则在 24 小时内会有 48 部故障装备，从曲线上可查，纵坐标数值大于 48 时对应的初始备用装备和备用备件数量可满足要求。

如果每 15 分钟出现一次装备战损的情况下，24 小时内就有 96 次战损。为了保障作战任务，初始装备备件数和模块备用数应选择图 3 中可保障装备数(纵坐标数值)大于 96 所对应的值。

## 5. 结束语

利用 Petri 网方法对战场抢修系统建模仿真，分析了如何配置初始备用装备数和备用模块数以满足任务装备完好率，确保在满足战斗需要的同时，避免过量的备用资源造成管理上的负担和人力浪费，以提高保障效能。这个结果可为管理决策员提供决策参考。系统模型的建立是分析的关键，在后续的研究中，结合实战应用中的装备保障机制进行模型的调整，使模型更有参考价值。

## 参考文献

- [1] Claude Girault, Rudiger Valk 著. 系统工程 Petri 网——建模、验证与应用指南[M]. 王生原, 余鹏, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] 刘航, 孙霞, 王倩倩. 基于 Petri 网的门诊流程模型优化分析[J]. 绥化学院学报, 2019, 39(9): 148-150.
- [3] 胡亚娟, 曹志, 朱绍杰, 等. 基于 Petri 网的故障区段定位与故障模式辨识方法[J]. 智慧电力, 2019, 47(8): 63-68+75.
- [4] 夏磊, 王丽丽. 基于 Petri 网带配置信息的电影票预定系统的优化[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2019, 42(4): 139-142.
- [5] 汤晨, 王丽丽. 基于 Petri 网的光缆施工材料管理模型优化分析[J]. 绥化学院学报, 2019, 39(8): 137-139.
- [6] 姜明壮, 李东波, 童一飞. 基于赋时 Petri 网的机器人小臂装配线建模[J]. 机床与液压, 2019, 47(14): 1-6.
- [7] 李阳, 武昌, 曹洪权. CPN-TOOLS 在装备维修规划中的应用研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(1): 200-203.
- [8] 董成喜, 吴德伟, 郇能建, 等. CPN 在导航装备维修保障效能中的应用[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(11): 102-104.
- [9] 汪凯, 冯惊雷, 张恒喜. 基于 Petri 网的军用飞机使用维修保障建模[J]. 装备指挥技术学院学报, 2005, 16(6): 14-17.
- [10] 赵晓明, 高宪军, 梁广东. 基于 HTPN 战时通信装备维修保障系统建模[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2009, 27(4): 412-417.