

# 专用通信装备配发过程的 WF-nets 模型

杨芳<sup>1</sup>, 时和平<sup>1</sup>, 周磊<sup>2</sup>

(1. 西安通信学院, 西安 710106; 2. 济南军区 72556 部队, 济南 250001)

**摘要:**将工作流网(WF-nets)的基本理论应用于专用通信装备配发过程建模,利用 CPN Tools 对模型进行仿真分析,验证模型的正确性及合理性;仿真结果表明专用通信装备管理不适合采用集中统管方式;在此为专用通信装备配发流程改进提供了理论依据,也为专用通信装备管理系统的设计提供了模型基础。

**关键词:**专用通信装备;配发流程;工作流网;集中统管

**本文引用格式:**杨芳,时和平,周磊. 专用通信装备配发过程的 WF-nets 模型[J]. 四川兵工学报,2015(7):73-78.

**Citation format:** YANG Fang, SHI He-ping, ZHOU Lei. Dedicated Communications Equipment Allotment Process WF-Nets Model[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2015(7):73-78.

中图分类号: TP302.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2015)07-0073-06

## Dedicated Communications Equipment Allotment Process WF-Nets Model

YANG Fang<sup>1</sup>, SHI He-ping<sup>1</sup>, ZHOU Lei<sup>2</sup>

(1. Xi'an Communications Institute, Xi'an 710106, China;

2. Ji'nan Military Region, the No. 72556<sup>th</sup> Troops of PLA, Jinan 250001, China)

**Abstract:** The theory of WF-nets was applied to dedicate communication equipment allotment process modeling. CPN Tools was used to analyze and verify the correctness and rationality of the model. Simulation results shows that dedicated communication equipment management is not suitable for centralized management. This article provides the theory basis for the work of allotment and provides the model for the design of the dedicated communication equipment management system.

**Key words:** dedicated communication equipment; allotment process; WF-nets; centralized management

近年来,为提高部队遂行作战行动、反恐维稳、抢险救灾等多样化军事任务通信保障能力,满足部队执行军事任务和军警民联合行动的保障需求,建设了专用通信网络,并将专用通信装备配发相关单位。管理主要采用集中统管模式,相关管理工作繁琐复杂,配发过程尤为突出,需要不同领域各个层次多个部门的协同工作。为此本文分析整理该专用通信装备的配发过程,构建相应的工作流网(WF-nets; Work Flow Nets)模型,为实现审批、开通、归档等功能的自动化处理提供模型基础,对规范配发业务流程提供理论依据。

工作流技术是实现工作流程计算机自动化处理的基本技术。工作流建模方法多种多样,基于有向图的建模方法、基于 IDEF 系列建模方法、基于语言行为的建模方法等<sup>[1]</sup>。这些方法从用户层面出发,采用图形语言或文本语言定义工作流程,不利于系统实现且不能对工作流的本质特征进行

描述。Petri 网建模方法既具有图形化的表示方法,又具有强大的形式化描述能力,被广泛的应用于工作流建模。文献[2-4]中将不同的 Petri 网模型用于工作流建模实现了针对工作流逻辑、时间、性能等不同纬度的分析。WF-nets 是荷兰学者 Aalst 提出的一种专门针对工作流控制流维度进行建模的 Petri nets。本文利用 WF-nets 对专用通信装备配发流程进行建模,并在此基础上对其进行时间扩展分析了配发流程的时间性能。

### 1 工作流网

WF-nets( $t$ )以 Petri net 为基础,具有标准的数学定义,以及一系列的形式化分析方法。

### 1.1 workflow网定义

WF-nets(*t*)的定义如下:

定义 1<sup>[5]</sup>:Petri 网  $PN = (P, T, F)$  是 WF-nets(*t*), 当且仅当:

- (1) 存在一个源库所  $i \in P$ , 使得  $i' = \emptyset$ ;
- (2) 存在一个汇结库所  $o \in P$ , 使得  $O' = \emptyset$ ;
- (3) 每个节点  $x \in P \cup T$  都位于从  $i$  到  $o$  的路径上。

约束条件(1)、(2)规定了 WF-nets(*t*) 必须具有一个源库所和一个漏库所, 分别代表过程实例的开始和结束。约束条件(3)规定了过程实例中的活动和条件必须位于源库所到漏库所的有向弧上。由上述定义可以看出 workflow网很好的描述了案例的生命周期。

### 1.2 workflow网分析方法

业务过程设计必须保证逻辑上的正确性, 不能存在异常结构, 比如“死锁”, “死循环”等。基于 WF-nets(*t*)的分析可以判定过程设计的正确性。

Aalst 将 Petri nets 结构特性与动态行为相结合提出了 WF-nets(*t*)合理性分析。

定义 2<sup>[6]</sup>:由一个 WF-nets(*t*)建模的过程是合理的, 当且仅当:

- (1) 对于每一个从状态  $i$  可达的状态  $M$ , 存在一个变迁序列, 使状态  $M$  能通往  $o$ ; 即  $\forall M(i \xrightarrow{*} M) \Rightarrow (M \xrightarrow{*} O)$ ;
- (2) 状态  $o$  是从状态  $i$  可达的唯一最终状态, 且结束时

其中至少会有一个托肯, 即:  $\forall M(i \xrightarrow{*} M \wedge M \geq o) \Rightarrow (M = o)$ ;

- (3) 在  $(PN, i)$  中没有死变迁, 即  $\forall t \in T \exists M, M', i \xrightarrow{*} M \xrightarrow{*} M'$ 。

定义中的  $i, o$  分别表示源库所  $i$  与漏库所  $o$  中存在于一个托肯的初始状态和最终状态。条件(1)说明了从初始状态  $i$  总能到达最终状态  $o$ 。条件(2)说明当到达最终状态  $o$  时, WF-nets(*t*)中其余库所中均没有托肯存在。条件(3)则说明了 WF-nets(*t*)中不能存在死变迁, 即死任务。文献[6]给出了 WF-nets(*t*)合理性的分析方法。

定理 1: 构建 WF-nets(*t*) PN 的短路网  $\overline{PN}$ , 当且仅当  $\overline{PN}$  是活的并且是有界的, 那么 PN 既是合理的。

活性及有界性的判断可以利用 Petri net 提供的形式化分析方法, 此处不再赘述参见文献[7]。文献[7]提供的各种分析方法都是以人工分析为基础的, 不利于复杂系统的分析验证。因此本文利用目前最成熟的 Petri 网建模分析工具 CPN Tools<sup>[8]</sup>对模型进行分析验证。

## 2 专用通信装备配发过程建模

### 2.1 配发流程描述

专用装备配发流程如图 1 所示。

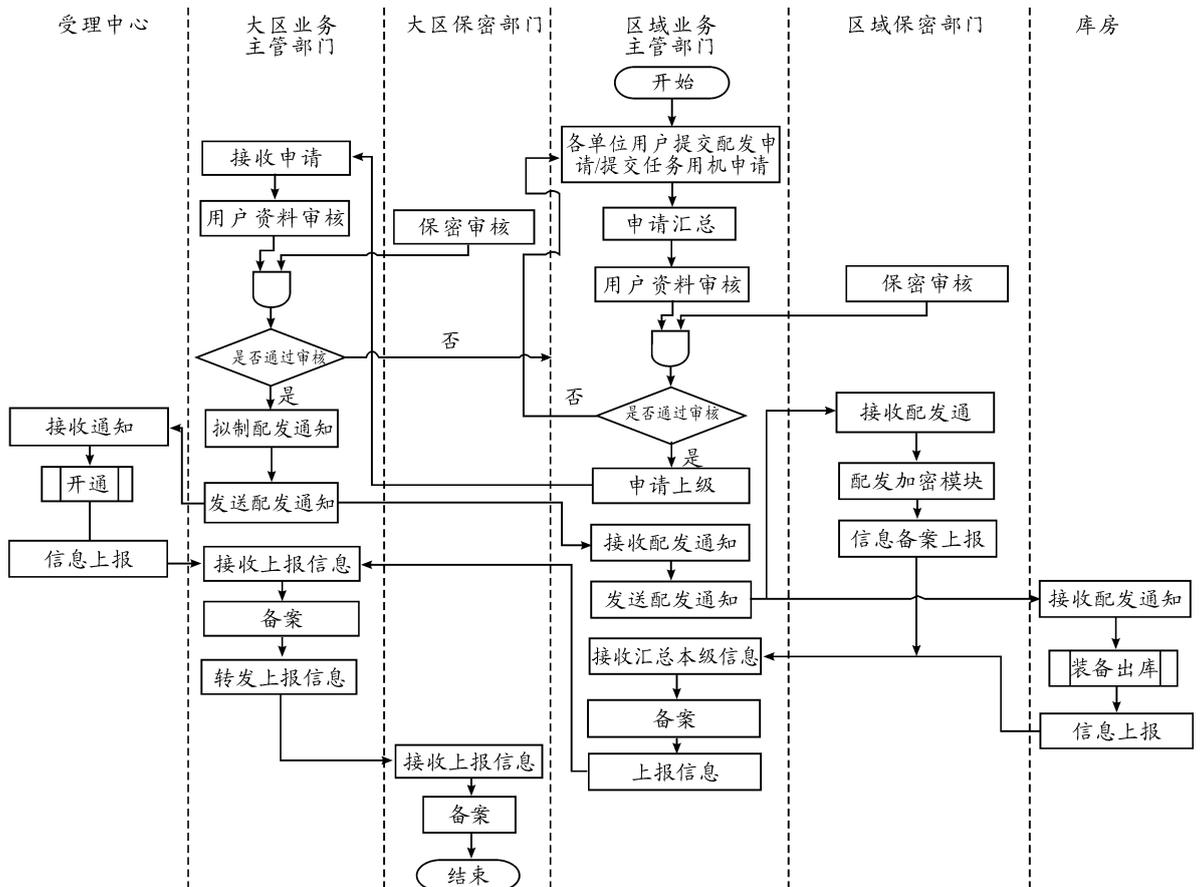


图 1 配发流程



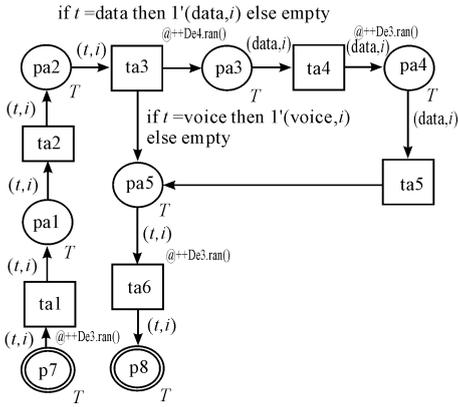


图4 开通子网

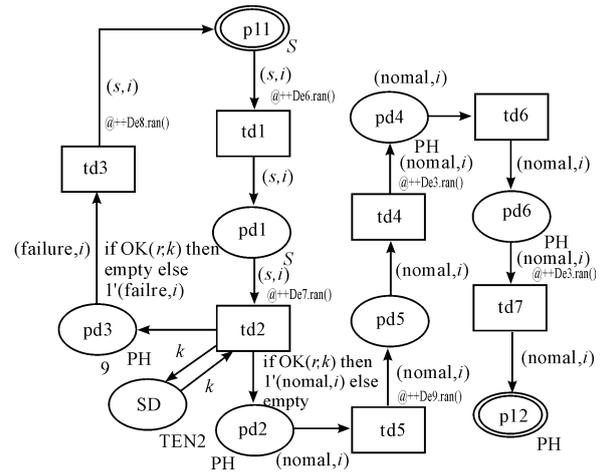


图5 出库子网

审批子网图3、出库子网图5中库所SP、SA、SD为控制库所,SA、SP用以控制审批通过率,SD用以控制故障机出库比例。初始标识设为常量k,设置随机数r,比较随机数r与k的取值,控制输出。根据实际情况修改k值,以获得不同的比率。

模型中相关变量及函数声明如下:

```
colset I = int;
colset Tt = with voice | data;
colset T = product Tt * I timed;
colset BO = bool with (no, yes);
colset RESULT = with
accept | reject | accept1 | pending;
colset ST = with s;
colset S = product ST * I timed;
colset S_VERIFY = product ST * BO * I timed;
colset S_RESULT = product
ST * RESULT * I timed;
colset SE = with m;
```

```
colset SEC = product SE * I timed;
colset PHP = with nomal | failure;
colset PH = product PHP * I timed;
colset PH_TEST = product
PHP * BO * I timed;
colset TEN1 = int with 0..9;
colset TEN2 = int with 1..10;
var r1, r2: BO;
var i: I;
var t: Tt;
var r: TEN1;
var k: TEN2;
var p: PHP;
fun R(r1, r2) = (r1 andalso r2);
fun OK(r: TEN1, k: TEN2) = (r <= k);
```

其中整数集TEN1、TEN2,变量r,k,函数OK是与控制库所SA、SP、SD相关的函数及函数声明。其余声明用以区分案例在流转过程中的不同状态。模型中标识含义如表2。

表2 标识含义

| 标识 | 意义         | 标识  | 意义             |
|----|------------|-----|----------------|
| tv | 审批子流程      | p1  | 审批通过状态         |
| t1 | 发送配发通知     | p3  | 保密模块配发通知接收完毕   |
| t2 | 接收保密模块配发通知 | p4  | 保密模块配发完毕       |
| t3 | 配发保密模块     | p5  | 保密模块配发资料备案上报完毕 |
| t4 | 资料备案上报     | p6  | 开通通知接收准备就绪状态   |
| t5 | 配发资料汇总     | p7  | 开通通知接收完毕       |
| t6 | 接收号码开通通知   | p8  | 开通完毕           |
| ta | 开通子流程      | p2  | 保密模块配发通知接收准备就绪 |
| t7 | 开通资料上报     | p9  | 开通资料上报完毕       |
| td | 出库子流程      | p10 | 出库通知接收准备就绪状态   |

续表

| 标识    | 意义             | 标识   | 意义                 |
|-------|----------------|------|--------------------|
| t8    | 接收出库通知         | p11  | 出库通知接收完毕           |
| t9    | 出库资料上报         | p12  | 出库完毕               |
| t10   | 配发资料归档         | p13  | 出库资料上报完毕           |
| tv1   | 用户提交申请         | p14  | 配发资料归档完毕           |
| tv2   | 区域业务主管部门申请信息汇总 | end  | 结束                 |
| tv3   | 区域业务主管部门用户资料审核 | pv1  | 用户提交申请完毕           |
| tv4   | 区域业务主管部门审核结果汇总 | pv2  | 区域业务主管部门用户资料审核准备就绪 |
| tv5   | 区域保密部门保密审核     | pv3  | 区域业务主管部门用户资料审核完毕   |
| tv6   | 区域保密部门审核结果上报   | pv4  | 区域保密部门保密审核准备就绪     |
| tv7   | 大区保密审核         | pv5  | 区域保密部门保密审核完毕       |
| tv8   | 大区用户资料审核       | pv6  | 区域审核通过             |
| tv9   | 大区审核结果汇总       | pv7  | 大区保密审核准备就绪         |
| ta1   | 筛选号码           | pv8  | 大区保密审核完毕           |
| ta2   | 用户号码绑定         | pv9  | 大区用户资料审核准备就绪       |
| ta3   | 受理系统开通         | pv10 | 大区用户资料审核完毕         |
| ta4   | 数据业务一级开通       | pa1  | 号码筛选完毕             |
| ta5   | 数据业务二级开通       | pa2  | 用户号码绑定完毕           |
| ta6   | 开通资料受理中心备案     | pa3  | 数据业务受理中心开通完毕       |
| td1   | 货架取机           | pa4  | 数据业务开通完毕           |
| td2   | 开机测试           | pa5  | 开通成功               |
| td3   | 故障机标记入库        | pd1  | 取机完毕               |
| td4   | 登记用户资料         | pd2  | 装备通过测试             |
| td5   | 用户确认           | pd3  | 装备未通过测试            |
| td6   | 交付用户           | pd4  | 用户资料登记完毕           |
| td7   | 出库资料备案         | pd5  | 用户确认完毕             |
| start | 开始             | pd6  | 交付用户完毕             |

续表

|                                 | Upper | Lower |
|---------------------------------|-------|-------|
| ta'pa1-ta'pa5 1                 |       |       |
| td'pa1-ta'pd6 1                 | 1     | 0     |
| top'start 1                     | 1     | 0     |
| top'end 1                       | 1     | 0     |
| top'p1 1-top'p14 1              | 1     | 0     |
| tv'pv1 1-tv'pv10 1              | 1     | 0     |
| Liveness Properties             |       |       |
| Dead Markings: None             |       |       |
| Dead Transition Instances: None |       |       |
| Live Transition Instances: All  |       |       |

表3 部分状态报告

| Statistics          |
|---------------------|
| State Space         |
| Nodes: 862          |
| Arcs: 2 229         |
| Secs: 0             |
| Status: Full        |
| Best Integer Bounds |

由报告可以看出模型的短路网具有很好的活性并且是有界的。由定理 1 可知该 WF-nets(t) 是合理的。

### 3.2 模型时间性能分析

根据近年专用通信装备配发相关数据,为模型中变迁赋予时间值。利用 CPN Tools 进行仿真,计算完成任务平均时长、流程主要环节驻留时间。主要活动赋时见表 4。

## 3 模型验证分析

### 3.1 模型正确性验证

模型存在源库所 start、漏库所 end 使得  $\cdot \text{start} = \emptyset \wedge \text{end} \cdot = \emptyset$ 。且每个节点都在从 start 到 end 的路径上,符合定义 1,因此该模型是 WF-nets(t),结构正确。

构建主流程模型的短路网,在库所 start 与 end 之间添加变迁 t\*,利用 CPN Tools 计算该短路网状态空间,生成部分状态报告如表 3 所示。

表4 配发过程主要活动用时

| 变迁  | 含义                 | 最短执行<br>延迟/h | 最长执行<br>延迟/h |
|-----|--------------------|--------------|--------------|
| t3  | 配发保密模块             | 1            | 8            |
| t4  | 资料备案上报             | 0.5          | 2            |
| t7  | 开通资料上报             | 0.5          | 2            |
| t9  | 出库资料上报             | 0.5          | 2            |
| t10 | 配发资料归档             | 0.5          | 2            |
| tv2 | 区域业务主管单位申请<br>信息汇总 | 0.5          | 1            |
| tv3 | 区域业务主管单位用户<br>资料审核 | 1            | 4            |
| tv4 | 区域业务主管单位<br>审核结果汇总 | 0.5          | 1            |
| tv5 | 区域业务保密部门<br>保密审核   | 1            | 6            |
| tv7 | 大区保密审核             | 1            | 8            |
| tv8 | 大区用户资料审核           | 1            | 4            |
| tv9 | 大区审核结果汇总           | 0.5          | 1            |
| ta1 | 筛选号码               | 0.5          | 1            |
| ta2 | 用户号码绑定             | 1            | 4            |
| ta3 | 业务开通               | 1            | 4            |
| ta4 | 数据业务一级开通           | 0.5          | 1            |
| ta5 | 数据业务二级开通           | 1            | 4            |
| ta6 | 开通资料受理中心备案         | 0.5          | 1            |
| td1 | 货架取机               | 0.2          | 1            |
| td2 | 开机测试               | 0.2          | 4            |
| td3 | 故障机标记入库            | 0.1          | 0.2          |
| td4 | 登记用户资料             | 0.5          | 1            |
| td5 | 用户确认               | 0.2          | 2            |
| td6 | 交付用户               | 0            | 0            |
| td7 | 出库资料备案             | 0.5          | 1            |

仿真运行 50 次求平均值。求得任务平均完成时间为 22.6 h, 约为 3 个工作日。审批环节平均驻留时间为 12.2 h, 大约需要 1.5 个工作日, 约占任务完成时间的 54%。

出库、开通、保密模块配发并行执行, 其中出库环节平均驻留时间为 5.5 h; 开通环节平均驻留时间为 7.9 h; 保密模块配发环节平均驻留时间为 6.3 h, 所需时间均不超过 1 个工作日。

## 4 结束语

分析上述数据可知在专用通信装备配发过程中审批环

节繁重, 用时较长, 可作适当改进。专用通信装备配发数量有限, 但涉及面较广, 用户分散不利于集中统管。可考虑将部分审批权限下放, 各区域业务主管负责审批部门负责本级用户配发资格, 并将配发资料上报大区备案。大区只负责本级直属用户配发资格审批, 减少审批手续提高配发效率。

本文分析了专用通信装备配发过程, 并利用 WF-nets( $t$ ) 对配发过程进行建模, 经过模型分析证明该模型正确可靠。该模型可作为专用通信装备管理系统开发的模型基础。此外, 本文在此模型的基础上针对专用通信装备配发的时间特性进行了仿真分析, 并根据仿真结果提出了专用通信装备配发改进意见。但本文没有进行资源利用率分析。这是下一步工作重点。

## 参考文献:

- [1] 黄瑜岳, 李克清. 基于 Petri 网的工作流合法性验证综述 [J]. 计算机应用研究, 2013, 30(1): 26-29.
- [2] 邓建, 陈智, 曾家智. 业务过程模型的 Petri 网形式化检查方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(5): 66-70.
- [3] Yan Pan, Yong Tang. A workflow model based on fuzzy-timing Petri nets. In: Proceedings of the Ninth International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, Coventry, UK, 2005, 541-546.
- [4] 曾炜, 阎保平. 工作流模型研究综述 [J]. 计算机应用研究, 2005(5): 11-13.
- [5] W M P Van der Aalst, Kees Van Hee. Workflow Management Models, methods and system [M]. MIT Press, 2002: 209-211.
- [6] W M P Van der Aalst. Verification of Workflow Nets [J]. In Application and Theory of Petri Nets, VOL 1248 of Lecture Notes in Computer Science: Springer-Verlag, 1997: 407-428.
- [7] Murata T. Petri nets: Properties, Analysis and Applications [J]. Proceeding of the IEEE, 1989, 77(4): 541-580.
- [8] Jensen K. Colored Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use [M] Basic Concepts. Monographs in Theoretical Computer Science, 2nd corrected printing (ISBN3-540-60943-1). Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997.

(责任编辑 杨继森)