

TPN 通信导航装备战场抢修系统建模

赵晓明^{1,2}, 武昌¹, 齐胜利¹, 潘平俊¹

(. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘要:描述了用时间 Petri 网(TPN)在装备战场抢修系统(BDAR)建模中的优势,在给出了一种基于时间 Petri 网通信导航装备战场抢修系统的建模方法和步骤的基础上,建立了一个通信导航装备战场抢修系统的 TPN 模型,并进行实例分析,验证模型是可行的。

关键词:TPN; 战场抢修; 离散事件系统

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2007)06-0055-04

现代战争战场态势瞬息万变,正确的分析和优化装备战场抢修的各个环节,可以极大地缩短战损装备的抢修时间,从而可以掌握战场上的主动权,而因时间 Petri 网在对一类含时间因素系统建模分析中有较强的优势,文中 TPN 结合战场假定的情况,仅从抢修时间的角度,对其中一个抢修级别的抢修过程进行了建模分析,给出了装备最短抢修时间的分析方法和抢修路径。最后对模型进行了实例分析,验证了该模型用于分析通信导航装备战场抢修系统的科学性与可行性。

1 时间 Petri 网

1.1 TPN 的基本概念

时间 Petri 网的定义最早是由 P. Merlintonch 在他的博士论文^[1]里提出的,他用这种网系统地研究了计算机系统和通信协议的可恢复性。时间 Petri 网一般是指对 Petri 网中的每一个变迁引入一个延迟量(固定值或区间值),时间 Petri 网的基本定义如下:时间 Petri 网是一个 5 元组 $\Sigma = \{S, T; F, M, I\}$ $\{S, T; F, M\}$ 是一个原形 Petri 网,基本 Petri 网定义及其符号含义是: $S \cup T \neq \emptyset$ $S \cap T = \emptyset$, $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$ $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = S \cup T$ 。

M 是定义在变迁集上的时间区间函数。 $I: T \rightarrow \mathbf{R}_0 \times (\mathbf{R}_0 \cup \{\infty\})$ \mathbf{R}_0 表示非负实数集。对于 $t \in T$,若 $I(t) = [\alpha, \beta]$,那么当变迁 t 在表示 M 有发生权时,至少要经过 α 个单位时间才能发生;如果在此期间没有别的变迁发生使 t 失去发生权,那么变迁 t 最晚在 β 个时间单位内必然发生。变迁的时间是瞬间的,即变迁一旦发生,立即导致标识的改变。变迁 t 发生产生的新标识 $M'(M|t > M')$ 的计算公式同原形 Petri 网的计算公式见文献^[2]。

1.2 TPN 的建模方法与步骤

把装备在战场中从战损装备经过维修人员的一系列抢修活动到战损装备恢复看成是一个非肯定型抢修过程,但在装备战场抢修特定的环境条件下,每个抢修环节都有最少可能抢修时间下限,表示完成该环节所需最少时间;抢修时间上限表示在该修环节中抢修时间不能超过最大的时间上限,所有环节中的每个环节的抢修活动都必须大于等于最少抢修时间下限,小于等于最大的抢修时间上限。如果把从战损装备到装备恢复中间的一系列活动衔接起来,就可以用 Petri 网模拟出来^[3],用 Petri 网的 2 个 t 节点和 1 个 S 节点串联起来表示一个抢修环节,如图 1 所示,其中 t_{i1} 表示实施第 i 个抢修环节活动的开始, t_{i2} 表示实施第 i 个抢修环

收稿日期:2006-12-14

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:赵晓明(1962-),男,吉林长春人,博士生,主要从事通信导航系统建设与评估研究;

武昌(1944-),男,辽宁沈阳人,教授,博士生导师,主要从事通信导航管理和建模等研究。

节活动的结束,位置 S_i 含有一个托肯,代表活动 i 的进行。位置 S_i 上含有 $\alpha(S_i)$ 和 $\beta(S_i)$ 2 个时间函数,分别表示完成该维修环节的时间下限和上限,用 $[\alpha(S_i) - \beta(S_i)]$ 表示。整个抢修过程的 Petri 网模型可以用以下的方法和步骤来构建^[4]。

步骤 1: 如果抢修环节 j 是环节 i 的前提,那么在 t_{i2} 和 t_{j1} 之间加入一个库所 S_{ij} 使得 ${}^{\circ}S_{ij} = \{t_{i2}\}, S_{ij}^{\circ} = \{t_{j1}\}$ 并对 S_{ij} 赋予时间(权)值为零(见图 2)。

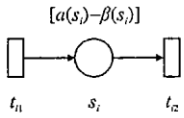


图1 第 i 个抢修环节活动的一个 PN 网模型

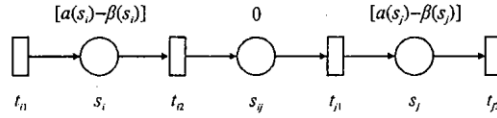


图2 第 i 个抢修环节活动与第 j 个抢修环节活动衔接的一个 PN 网模型

步骤 2: 对那些无前提抢修环节的环节,把它们各自开工的变迁合并成一个,设为 t_b 。

引入初始库所 S_0 , 使得 ${}^{\circ}t_b = \{S_0\}, t_b^{\circ} = \{S_i \mid \text{环节 } i \text{ 无前提环节}\}$ ${}^{\circ}S_0 = \emptyset, S_0^{\circ} = \{t_b\}$, 对 S_0 赋予时间(权)值为零。表示整个抢修活动开始。

步骤 3: 对那些无后续抢修环节的环节,把代表它们各自完工的变迁合并成一个,设为 t_e 。引入初始库所 S_e , 使得 $t_e = \{S_j \mid \text{环节 } j \text{ 无后续环节}\}, t_e^{\circ} = \{S_e\}$ ${}^{\circ}S_e = \{t_e\}, S_e^{\circ} = \emptyset$, 对 S_e 赋予时间(权)值为零。表示整个抢修活动结束。

步骤 4. 设置初始标识 M_0 , 使得 $M_0(S_0) = 1, M_0(S) = 0 (S \neq S_0)$, 按上述步骤得到的 Petri 网再加上一些简化, 消去一些零权库所(S_0, S_e 不能消去), 就可以得到一个时间 Petri 网。

2 通信导航装备战场抢修系统 TPN 模型

2.1 通信导航装备战场抢修系统

通信导航战场抢修保障系统是一个包含通信装备、人员、物资、信息、管理等因素的离散事件动态复杂系统^[5-8]。以某一规模为作战单位的通信导航装备战场抢修保障系统, 总体上由 3 个级别的通信导航装备抢修子系统、2 个备件仓库和一个运输子系统组成, 共有 3 类资源, 5 个对象。为了更好的体现各个环节的相互协作关系, 也为下一步建立通信导航战场抢修 TPN 模型^[9], 文中给出了用 UML^[10] 建立的通信导航战场抢修协作图模型, 在战时为了能尽快地恢复战损装备, 战时维修中心可直接面向基层级抢修分队, 基层级抢修分队急需的备件和支援抢修人员直接向维修中心申请, 这样可以极大地缩短战损装备的抢修时间, 同时也体现了战时靠前维修的指导思想。

2.2 系统 TPN 模型

某一抢修级别的装备抢修环节基本由以下环节组成: 用 A 表示战损评估、 B 表示战损装备后送、 C 表示人员资料和检测设备准备、 D 表示故障分类、 E 表示机械故障定位分析、 F 表示电器故障定位分析、 G 表示备件请求与供应、 H 表示部件分解与更换、 I 表示装备恢复、 J 表示整机调校及检测、 K 表示装备返回战场、 L 表示上报机关等 12 个抢修环节见表 1。

表 1 装备抢修的各环代号及时间期限及前提工序

环节	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
时间期限	7-10	5-20	10-15	5-10	20-30	15-20	17-20	10-20	15-45	10, 30	6-10	5-20
前提工序	无	A	A	B, C	D	D	E	F	E, F	G, I	H, I	H, I

具体的系统 TPN 建模过程如下:

假定: ①该抢修级别由为通信装备抢修组和导航装备抢修组组成; ②各组分别有 2 名工程师和助理工程师; ③送到该维修级别的受损装备都要全部恢复, 且能全部恢复; ④装备维修环节中时间上下限按规定标准时间; ⑤受损装备的运送时间、备件供应时间由各个抢修级别、抢修地点和备件仓库的位置不同, 各个环节时间上下限是假定的(见表 1); ⑥装备损伤的种类、数量由具体情况而定。按照文中 1.2 给出 TPN 建模的 4 个基本步骤, 根据给定的战场想定条件, 某一级别通信导航装备战场抢修 TPN 模型见图 3。其中每个抢修环节时间的上下限由表 1 给出, 同时在 Petri 网模型中每一个库所上面标明了该抢修环节的时间限制。

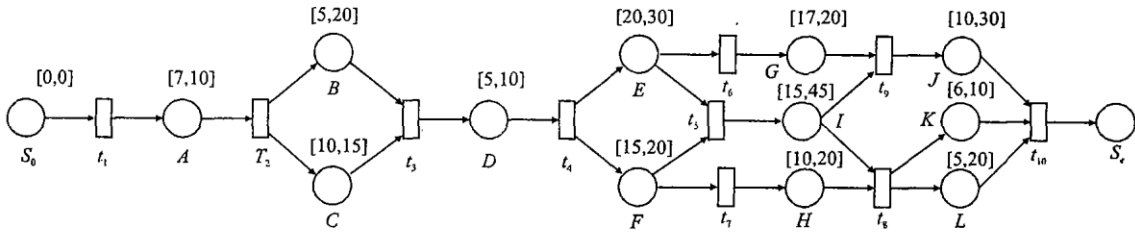


图3 某一级别通信导航装备战场抢修 TPN 模型

若抢修过程中的每个环节都以时间下限为完成时间,记下这种情况下环节 S_i 的最短可能的抢修时间 $E_1(S_i)$,

$$E_1(S_i) = \begin{cases} 0, & S_i = S_0 \\ \max\{E_2(S_j) + \alpha(S_j) \mid S_j \in \bullet(\bullet S_i)\}, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

若抢修过程中的每个环节都以时间上限为完成时间,记下这种情况下环节 S_i 的最短可能的抢修时间 $E_2(S_i)$,

$$E_2(S_i) = \begin{cases} 0, & S_i = S_e \\ \max\{E_2(S_j) + \beta(S_j) \mid S_j \in \bullet(\bullet S_i)\}, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

3 实例分析

实例:某部队在参加一次战斗中,共投入了 40 台通信设备 20 台导航设备,其中通信导航装备轻损、中损、重损、报废损伤概率都分别为 10%、30%、40%、20%。送到该级别抢修受损装备有 4 台通信设备 2 台导航设备,在现有的抢修人员、设备、运送条件、抢修备件仓库的地点一定的条件下,分析受损装备最短抢修恢复时间,如按战场规定的抢修时间,是否要增加抢修人员、设备。

依据给定的 TPN 模型,选取各个抢修时间环节的下限,按照式(1)求出抢修各个环节的 $E_1(S_i)$,最后求出 $E_1(S_e)$ 。

依据给定的 TPN 模型,取各个抢修时间环节的上限,按照式(2)求出抢修各个环节的 $E_2(S_i)$,最后求出 $E_2(S_e)$,见表 2。

表2 装备抢修的各环节 $E_1(S_i)$ 和 $E_2(S_i)$

环节 S_i	S_0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	S_e
$E_1(S_i)$	0	0	7	7	17	22	42	57	57	57	74	74	74	74
$E_2(S_i)$	0	0	10	10	30	40	50	77	70	116	145	145	145	145

结论分析:

1) 这次通信导航装备抢修最短的抢修时间为 74 min。

最佳路径 $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G \rightarrow J \rightarrow S_e$ 。

假定在通信导航故障定位后就申请配件和运送配件同时拆卸装备,由于运送配件的最小时间小于导航装备拆装的时间,所以仅在这一个环节上就减少了配件运送时间。

2) 这次通信导航装备抢修最长的抢修时间为 145 min。

抢修路径 $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow I \rightarrow J \rightarrow S_e$ 。

虽然在通信导航装备故障定位后同样申请配件和运送配件同时拆卸装备,但由于运送配件的最长时间(I 结点送配件最大时间 45 min)大于导航装备拆装的时间,所以仅在这一个环节上就增加配件等待时间,而使下一个抢修环节更换装备配件不能及时的启动,延误后面的整体抢修工作。

3) 根据目前装备损坏的数量和现有的战场抢修人员,以及对该维修级别的最低时限要求,暂且不需要增派抢修技术人员。

实际战场抢修工作中的各个环节,不可能都在理想最短的时限内完成,但通过用 TPN 对一个含数百个环节的大系统进行建模分析,能避免在装备抢修的各个环节中都以最大的时间去完成,同时可以寻找出一个科学的、合理的、可行的装备战场抢修最佳方案。

4 结束语

从完成一次作战任务的角度来看战场战损装备抢修系统,系统中包括指挥、人员调度、装备运送、信息技术支持等许多中间环节,如果用时间 Petri 网分层建模分析此系统,科学的调整各个环节的相互衔接关系,就会极大地缩短战场战损装备的抢修时间,掌握战场的主动权。本文只是建立了一个基层级小系统 TPN 模型来说明 TPN 模型在分析通信导航装备战场抢修系统时间优化上是科学的和可行的,下一步还需要对 UML 和 TPN 映射算法做进一步深入地研究。

参考文献:

- [1] Merlin P M. A Study of the Recoverability of Computing System[D]. U. S. A; Univ. California PHD Thesis, 1974.
- [2] 吴哲辉. Petri 网导论[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.
- [3] 曾庆田,段 华. 一类含时间因素工作流的建模与时间性能挖掘[J]. 计算机集成制造系统 2005, 11(6): 855 - 860.
- [4] 郭齐胜,郭晓军. 系统建模原理与方法[M]. 长沙:国防科技大学出版社, 2003.
- [5] 王贤菊. 空军通信导航装备维修保障系统建模与仿真研究[D]. 西安:空军工程大学, 2002.
- [6] 甘茂治,康建设,高 崎. 军用装备维修工程学[M]. 北京:国防工业出版社, 2005.
- [7] 齐胜利,武 昌,杨 懿,等. 基于着色 Petri 网理论的通信装备维修建模[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2005, 6(3): 37 - 41.
- [8] 董成喜,郑志海,武 昌. 基于 CPN 的通信装备战场抢修系统效能优化[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2006, 7(4): 75 - 78.
- [9] 齐胜利,武 昌,赵晓明. UML - OPN 的建模方法及其在通信装备维修保障系统中的应用[J]. 系统工程与实践, 2006, 26(10): 50 - 56.
- [10] 邵维忠. 统一建模语言 UML 述评[J]. 计算机研究与发展 1999, 7(4): 386 - 394.

(编辑:田新华,徐楠楠)

Research on Modeling for Battlefield Damage Assessment Repair System of Communication and Navigation Equipment Based on TPN

ZHAO Xiao - ming^{1,2}, WU Chang¹, QI Sheng - li¹, PAN Ping - jun¹

(1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Aviation University of Air Force, Changchun 130022 China)

Abstract: The superiority of applying TPN with modeling to battlefield damage assessment repair system of communication and navigation equipment is described. And then, the method and step of modeling for its system based on TPN are given. On this basis, a TPN model of battlefield damage assessment repair system of communication and navigation equipment is built. And a case study is used to indicate that research on modeling for its system based on TPN model is efficient and scientific.

Key words: TPN; BDAR; discrete - event system