

【武器装备】

模糊 Petri 网在坦克自动装弹机故障检测中的应用

张振山,李培富,黄晶晶,夏祥

(装甲兵工程学院 兵器工程系,北京 100072)

摘要:针对坦克自动装弹机故障检测因果关系的复杂性和模糊性,提出了一种基于模糊 Petri 网的故障检测方法;在推理规则的基础上给出模糊 Petri 网推理算法,分析了自动装弹机故障特点,建立了模糊 Petri 网故障检测模型;最后通过实例分析验证了这种方法的可行性与有效性,方便利用计算机软件进行算法设计。

关键词:模糊 Petri 网;故障检测;自动装弹机

中图分类号:TP181

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2011)09-0007-03

Application of Fuzzy Petri-net to Fault Detection in Tank Autoloader

ZHANG Zhen-shan, LI Pei-fu, HUANG Jing-jing, XIA Xiang

(Department of Arms Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Aimed at the complexity and fuzzification of causality in tank autoloader fault detection, a method of fault detection based on fuzzy Petri-net is proposed. Based on the rule reasoning, a reasoning idea of fuzzy Petri-net is given, then the fault of tank autoloader are analyzed, and then FPN fault detection model is built. Finally the design is effectively verified by the analytical result of practical sample, and it can carry on the arithmetic design by the way of computer software easily.

Key words: fuzzy Petri-net; fault detection; autoloader

自动装弹机是坦克武器系统的重要组成部分之一,其性能和工作可靠性直接影响着坦克的总体战斗效能。它是一种机电一体化的复杂设备,控制环节多,逻辑关系复杂,在实际使用过程中很容易发生故障。当发生故障时,判断、查找故障比较困难,通常需要专业技术人员才能排除,排除时间较长。因此,对自动装弹机进行故障检测研究,具有重要的意义。

自动装弹机故障检测是利用开关和继电器的动作信息以及电压电流的变化信息,识别故障元件和故障区域^[1]。目前,国内外已经提出了多种故障检测的方法:如基于专家系统的方法、基于人工神经网络的方法、基于模糊理论的方法以及基于遗传算法的方法等等。但是以上这些方法往往需要大量的统计信息和经验知识,计算与训练都比较复杂,且需要大量启发性规则,是它们在检测能力、适用性和知识获取方面还不尽如人意。

Petri 网能够解释系统的结构和动态行为的重要信息,图形化地表达出系统的模型,非常适合于描述并列、次序发生的行为,而自动装弹机故障的发生过程正是这种动态过

程^[2]。因而 Petri 网适用于解决自动装弹机的检测问题。

1 故障检测模糊 Petri 网

1.1 模糊 Petri 网的构成

一个基本的模糊 Petri 网(fuzzy petri-net, FPN)由一个六元组构成,即 $FPN = (P, T, D, f, \alpha, \beta)$ ^[3]。其中, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} (n > 0)$ 是库所(place)节点的有限位置集合,每个库所用一个圆圈 O 表示; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\} (m > 0)$ 是变迁(transition)节点的有限集合,和规则相对应,每个变迁用一根竖线表示; $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 是库所中初始托肯(Token) $(m > 0)$ 的有限集合,用一个小黑点表示; f 是每一分配的一个可信度 (C_i) , $C_i = f(t_i) \in [0, 1]$; α 是每一位置分配的初始可信度 C_p , β 是每个位置与命题的映射, $\beta: P \rightarrow D$ 。

图1为一个简单 Petri 网的结构图,其中 p_1, p_2, p_3 为库所节点, t_1, t_2, t_3 为变迁节点。库所 p_1 中的黑点为此库所中的托肯。Petri 网的网络结构是静态的,网络的动态性质是通过库所中托肯的数目及变迁的点火体现出来的。变迁的点火

收稿日期:2011-06-27

作者简介:张振山(1953—),男,副教授,主要从事装甲车辆武器系统检测研究。

使托肯在网络中移动,模拟了系统状态的变换。

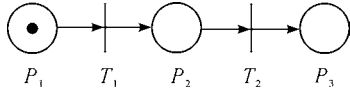


图1 简单 Petri 网的结构图

1.2 模糊 Petri 网推理规则定义

模糊推理规则通常是描述两个命题之间的关系规则。

令 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ 为模糊推理规则的集合,规则的置信度为 $\mu_i = f(t_i)$,这个值越高其规则的置信度就越高。那么,第 i 条模糊推理规则可以用如下的形式来表示。

R_i : 如果 d_i , 则 d_k ($CF = \mu_i$)

模糊 Petri 网的模糊推理是一种带有可信度的模糊推理。如果 d_i 的可信度 $c_p = y_i, y_i \in [0, 1]$, 则有:

如果 $y_i > \tau$, 则上式可被触发。那么 d_k 的真实度为 $y_i \cdot \mu_i$;

如果 $y_i \leq \tau$, 则上式不能被触发。

一般情况下,简单的模糊推理规则可以定义如下几种形式:

- 1) 如果命题 d_i 为真, $c_p > \tau$, 则 d_k 为真, 即 $d_i \rightarrow d_k$;
- 2) 如果命题 d_i 和 d_j 都为真, $c_p > \tau$, 则 d_k 为真, 即 $d_i \cap d_j \rightarrow d_k$;
- 3) 如果命题 d_i 为真或命题 d_j 为真, $c_p > \tau$, 则 d_k 为真, 则 $d_i \cup d_j \rightarrow d_k$;

其中 τ 为变迁的激活阈值, 以上规则知识可以用图 2 来表示。

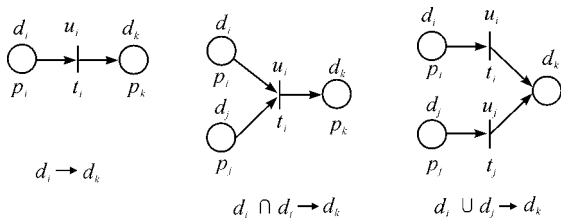


图2 模糊规则的 FPN

由此可见, Petri 网推理规则与自动装弹机的运行机理是相吻合的。故以模糊 Petri 网为工具, 通过分析自动装弹机的逻辑运算, 建立自动装弹机故障检测模型是可行的。

2 模糊 Petri 网推理算法

在模糊推理算法中, 需对 FPN 的每个库所建立能达到性集合 RS 、能立即达到性集合 IRS 和相邻库所集合 AP ^[3-4]。库所 p_i 能达到性集合 $RS(p_i)$ 是从 p_i 经一系列变迁可达库所集合; 库所 p_i 能立即达到性集合 $IRS(p_i)$ 是从 p_i 经一次变迁可达库所集合, 通过 RS 、 IRS 能完成后验条件到先验条件的回溯; 库所 p_i 的相邻库所集合 $AP(p_i)$ 是与 p_i 经同一变迁可立即达到的库所集合。显然, 其可确定后验条件上溯的先验条件集合中是否有 AND 关系。系统采用目标驱动为主

的反向推理的控制策略: 即选定一个目标库所, 遍历规则库, 如果存在多条路径, 则按可信度大小依次选取这些规则^[4]。

例如一个模糊 Petri 网, 如图 3 所示, 网中的 RS 、 IRS 、 AP 如表 1 中所示^[5]。

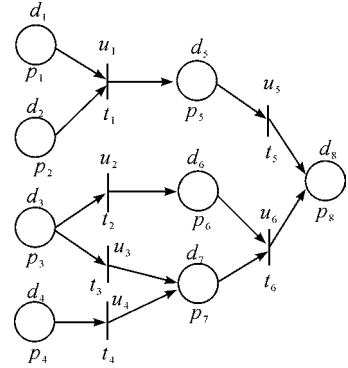


图3 模糊 Petri 网

表 1 能达到性集合、能立即达到性集合、相邻集合

p_i	$RS(p_i)$	$IRS(p_i)$	$AP(p_i)$
p_1	$\{p_5, p_8\}$	$\{p_5\}$	$\{p_2\}$
p_2	$\{p_5, p_8\}$	$\{p_5\}$	$\{p_1\}$
p_3	$\{p_6, p_7, p_8\}$	$\{p_6, p_7\}$	$\{\emptyset\}$
p_4	$\{p_7, p_8\}$	$\{p_7\}$	$\{\emptyset\}$
p_5	$\{p_8\}$	$\{p_8\}$	$\{\emptyset\}$
p_6	$\{p_8\}$	$\{p_8\}$	$\{p_7\}$
p_7	$\{p_8\}$	$\{p_8\}$	$\{p_6\}$
p_8	$\{\emptyset\}$	$\{\emptyset\}$	$\{\emptyset\}$

3 基于 FPN 的故障检测模型

坦克自动装弹机的工作环境比较恶劣, 在坦克行进间射击过程中, 长时间的剧烈振动, 容易造成自动装弹机工作模块出现故障。自动装弹机容易出现故障的环节主要有机械部件、继电器、电机、装弹按钮、控制开关组件和解锁机构^[6]。本文中以旋转输弹机为例进行故障检测模型分析^[7]。旋转输弹机不旋转的原因主要有: 继电器 J_{11} 没有闭合; 电机故障; 装弹机按钮故障; 旋转输弹机没有解锁以及线路断路或短路等。对于电机和装弹机按钮故障, 可采取直接更换部件的方法, 线路的故障一般比较少见。因此本文主要分析继电器和旋转输弹机没有解锁的故障原因, 故障模糊 Petri 网如图 4 所示。

模型的推理过程分为 3 层, 其中可检测的输入信号在第 1 层, 中间推理信号在第 2 层, 推理结果信号位于第 3 层, 层数越高, 推理结果越准确。Token 值是否大于 τ 来确定 T 是否被触发, 并根据 CF 的值算出下一次的值, 决定下一次是否

也被触发。

由图 4 确定有限位置集合 $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9\}$, 建立 RS, IRS, AP 如表 2 所示。

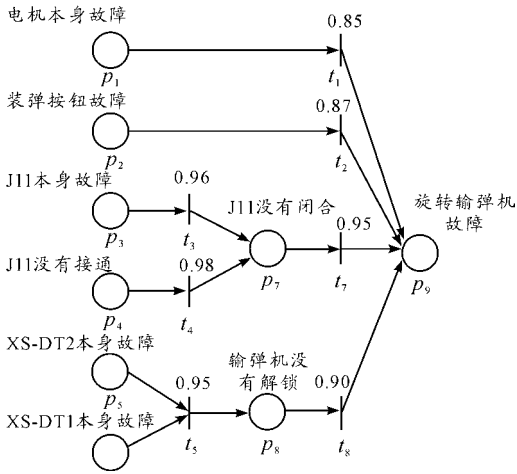


图 4 旋转输弹机故障诊断模型

表 2 RS, IRS, AP

p_i	$RS(p_i)$	$IRS(p_i)$	$AP(p_i)$
p_1	$\{p_9\}$	$\{p_9\}$	$\{\emptyset\}$
p_2	$\{p_9\}$	$\{p_9\}$	$\{\emptyset\}$
p_3	$\{p_7, p_9\}$	$\{p_7\}$	$\{\emptyset\}$
p_4	$\{p_7, p_9\}$	$\{p_7\}$	$\{\emptyset\}$
p_5	$\{p_8, p_9\}$	$\{p_8\}$	$\{p_6\}$
p_6	$\{p_8, p_9\}$	$\{p_8\}$	$\{p_5\}$
p_7	$\{p_9\}$	$\{p_9\}$	$\{\emptyset\}$
p_8	$\{p_9\}$	$\{p_9\}$	$\{\emptyset\}$
p_9	$\{\emptyset\}$	$\{\emptyset\}$	$\{\emptyset\}$

影响旋转输弹机故障主要因素用符号表示如下： p_1 表示电机本身故障； p_2 表示装弹按钮故障； p_3 表示 J_{11} 本身故障； p_4 表示 J_{11} 没有接通； p_5 表示 XS-DT2 本身故障； p_6 表示 XS-DT1 本身故障； p_7 表示 J_{11} 没有闭合； p_8 表示输弹机没有解锁； p_9 表示旋转输弹机故障。

由“旋转输弹机故障”，即图 4 中对应的位置 p_9 ，参照表

2 知 p_1, p_2, p_7, p_8 均可引起 p_9 的发生。自动装弹机运行时，根据检测， p_1, p_2, p_7, p_8 对应位置上的变迁可信度分别设为 0.85、0.87、0.95 和 0.90，根据控制策略得 t_7 最可能被触发，故选择路径 $p_7 \rightarrow p_9$ ，同时给 p_7 置标志 $\text{flag}[7] = 1$ ，表示系统在路径查找中已访问过该位置，以免重复查询。再通过表 2 反向查找，能够引起 p_7 发生的路径分别是 $p_3 \rightarrow p_7$ 和 $p_4 \rightarrow p_7$ ，而 p_4 对应变迁 t_4 可信度为 0.98 最大，故选择 $p_4 \rightarrow p_7$ ，而 $C_p(p_4) = 0.92$ 大于变迁激发阈值 $\tau = 0.8$ 。根据变迁 t_4 被激发这一事实， p_7 的可信度 $C_p(p_7) = C_p(p_4) * u_4 = 0.92 * 0.98 = 0.90 > \tau$ ，则变迁 t_7 被激发，则 p_9 的可信度为 $C_p(p_9) = C_p(p_7) * u_7 = 0.90 * 0.95 = 0.86$ 。因此，输弹机不旋转的故障为“ J_{11} 没有接通”的可信度是 0.86。

4 结束语

本文以旋转输弹机为例，在建立推理算法的基础上，采用模糊 Petri 网进行故障检测分析。在传统 Petri 网基础上，进一步完善了该故障检测方法，提高了装弹机检测效率。

参考文献：

- [1] 李挺, 孙洋. 模糊专家系统自动装弹机故障检测系统 [J]. 火力与指挥控制, 2009(增刊): 145-147.
- [2] 赵熙临, 周建中, 刘辉. 基于概率 Petri 网的故障诊断模型研究 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(24): 224-227.
- [3] 黄志武, 黄玉, 刘剑锋, 等. 模糊 Petri 网在 8K 电力机车 LCU 故障诊断中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16(5): 629-631.
- [4] 丁军, 张志华, 周学智. 模糊 Petri 网在指火控系统故障诊断中的应用 [J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2005, 21(3): 48-52.
- [5] 申宇皓, 孟晨, 高聪杰, 等. 状态检测与故障诊断的 Petri 网建模与分析 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 17(5): 826-829.
- [6] 邵思杰. 武器测试与故障诊断 [M]. 北京: 装甲兵工程学院, 2007.
- [7] 张晶. 某型自行火炮综合电气系统故障诊断专家系统 [J]. 兵工自动化, 2010, 29(3): 58-59.

(责任编辑 周江川)