

柔性加工单元故障诊断的模糊 Petri 网模型*

邱 静 彭智华 温熙森 唐丙阳

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

摘 要 针对故障诊断专家系统中专家知识的模糊性和不确定性, 给出用模糊 Petri 网 (FPN) 模型表示模糊产生式规则 (FPR) 知识的方法、知识的存储、模糊推理机制及算法的实现。同时, 以 JCS-020 (FANUC) 加工中心主轴伺服故障诊断为例, 说明该方法在故障诊断专家系统 (FDES) 中应用的可行性与有效性。

关键词 故障诊断, 专家系统, 柔性加工单元, 模糊 Petri 网

分类号 TH165.3

Fuzzy Petri Nets Model for FMC Fault Diagnosis

Qiu Jin Peng Zhihua Wen Xisen Tang Bingyang

(Department of Mechatronics Engineering and Instrumentation, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract In view of the Fuzziness and the uncertainty of the expert knowledge of the fault diagnosis expert system, this paper presents a method of Fuzzy production rule (FPR) knowledge representation by using Fuzzy Petri nets (FPN) model, knowledge store and Fuzzy reasoning mechanism, and gives the algorithm implementation. Furthermore, taking the fault diagnosis expert system for the JCS-020 (FANUC) manufacturing center as an example, We have proved in this paper the feasibility and validity of the method.

Key words fault diagnosis, expert system, FMC, Fuzzy petri nets

近年来, Petri 网在各个领域得到广泛的应用。在人工智能尤其是专家系统中, 由于 Petri 网的并行机制, 也备受青睐。在 FMS 加工设备状态监测与故障诊断中, 由于对设备与状态好坏的评估存在着很大的不确定性和模糊性, 要求一种能合理描述知识库中知识所固有的并发性、模糊性, 可进行并行模糊推理的模型。通过对 Petri 网、FMS、模糊产生式规则的内在特征分析, 可建立三者间的对应关系 (见表 1)。由表 1 可看出, 采用模

* 国家自然科学基金资助
1995年5月21日收稿

模糊 Petri 网表示 FMS 诊断专家知识，进行逻辑推理是非常适合的。

表 1 模糊 Petri 网、FMS 及模糊产生式规则关系

FMS	模糊 Petri 网	模糊产生式规则
状态、事件、故障系统	变迁网	规则规则库
状态变化	变迁的引发	规则的适用
各单元状态	位置	条件
系统状态	网的标识	成立条件集合
模糊性、不确定性	位置托肯值	置信度 (CF)

1 基于模糊 Petri Nets 模型的知识表示

模糊 Petri Nets 由位置和变迁组成，它通常被定义为一个八元组：

$$FPN = (P, T, D, I, O, f, \alpha, \beta)$$

式中： $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 为一个位置集合， $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 为一个变迁集合， $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 为一个命题集合， $P \cap T \cap D = \phi$ ， $|P| = |D|$ ， I, O 表示输入、输出函数。

$f: T \rightarrow [0, 1]$ 对每一变换分配一个置信度 (CF)； $\alpha: P \rightarrow [0, 1]$ 对每一位置分配一个置信度 (CF)； $\beta: P \rightarrow D$ 每一节点的位置与命题间的映射。

模糊产生式规则知识不外乎以下三种形式：

Type 1: if d_i then d_k (CF = μ_i)

Type 2: if d_i and d_j then d_k (CF = μ_i)

Type 3: if d_i or d_j then d_k (CF = μ_i)

其中： d_i, d_j, d_k 是包含一些模糊变量的命题， d_i 和 d_j 表示一组前提或状态， d_k 表示若干个动作或结论， $\mu_i \in [0, 1]$ 是规则的置信度 (Certainty Factor)。

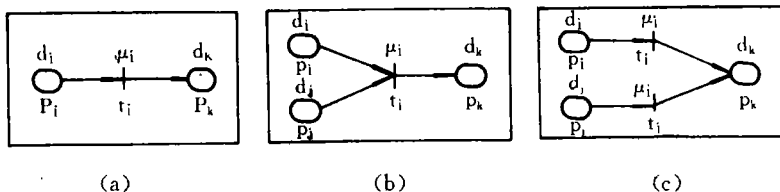


图 1 模糊产生式规则的 FPN

利用 FPN 模型表示模糊产生式规则时，它把规则的前提和结论都看作一种位置，而前提和结论之间的关系看作一种变迁，所以上述规则可由图 1 表示。

图中 $\beta(p_i) = d_i$ ， $\beta(p_j) = d_j$ ， $\beta(p_k) = d_k$ ； t_i 表示 $p_j \rightarrow p_k$ 和 $p_i \rightarrow p_k$ 间的变迁； $\mu_i = f(f_i)$ 表示该变迁的置信度。由此可见用 FPN 来表示 FPR 是非常简洁的。

2 基于模糊 Petri Nets 模型的推理

2.1 变迁引发推理

从 Petri 网角度来看，一个系统包括两部分：变迁和条件。变迁代表系统中发生的事

件或行为，条件是系统状态的逻辑描述，变迁的发生是受条件控制的。一旦某个变迁被引发，一些前提条件将不再成立，同时另外一些后验条件就被满足了。网的初始标识表达了系统的初始状态，变迁的引发在网中移动标记，模拟了系统状态的变化。Petri 网的这种特性使之能很好地描述条件式事件和产生式规则。在变迁引发过程中，如果同时可引发几个变迁，那么这几个变迁所代表的状态是可并发发生的。所谓一个变迁能引发，即是对给定的阈值 λ ，其变迁的输入位置的托肯值（相应于命题的置信度）大于阈值 λ ，否则不能引发。

2.2 FPN 网的存储

在利用 FPN 表示模糊产生式规则时，规则知识可能有成百上千条，必然会生成一张较复杂的网图。怎样在计算机里存储它们，以利于对各种操作（如查询、修改、删除、推理等）呢？这就要求我们选择适当的数据结构来存放。在我们所建立的故障诊断专家系统中选用两个邻接表来存放，所定义的结构类型如下：（用 C 语言描述）

```
struct FPNGRAPH{
    char pt1[5]; /* 位置变迁域 */
    float CF; /* 规则置信度 */
    struct FPNGRAPH* link; /* 链结域 */
};
```

```
struct PTTABLE{
    char pt2[5]; /* 位置变迁域 */
    struct FPNGRAPH* pthead; /* 头域 */
}P[KN], T[RN]; /* KN 最大知识条数 */
/* RN 最大规则条数 */
```

设 d_1, d_2, \dots, d_6 是 6 个命题，且有以下

FPR:

R1: if d_1 and d_3 then d_4 , CF=0.90

R2: if d_2 or d_3 then d_5 , CF=0.95

R3: if d_4 and d_5 then d_6 , CF=0.80

以上模糊产生式规则不难表示成图 2 所示的 FPN。根据上面定义的结构类型，不难将该网图存放起来，具体算法步骤见文献 [10]。根据算法运算结果，可得到如下两个邻接图（图中的“ \wedge ”表示空指针）。

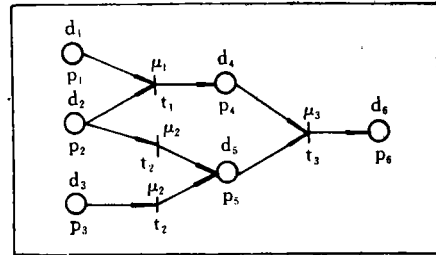
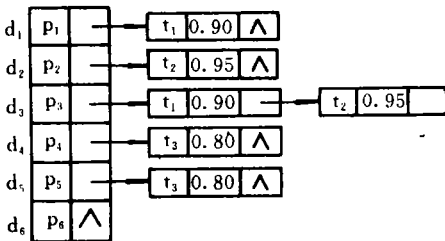
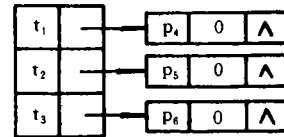


图 2 模糊规则的 FPN



(a) P 邻接表



(b) T 邻接表

图 3

2.3 模糊推理的实现

在模糊推理算法中，首先调用能达到性集合算法 (Reachability Sets Algorithm 简称 RSA) 和相邻位置算法^[4] (Adjacent Places Algorithm 简称 APA)。调用这两个算法后可得

到能达到性集合表和相邻位置表，如表 2、表 3 所示。

表 2 能达到性集合表

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

表 3 相邻位置表

place p_i	place p_k	API k
p_1	p_4	$\{p_3\}$
p_2	p_5	\emptyset
p_3	p_4	$\{p_1\}$
p_3	p_5	\emptyset
p_4	p_6	$\{p_5\}$
p_5	p_6	$\{p_4\}$

为了提高推理的效率，系统采用反向推理的控制策略：选定一个目标，在知识库中查找能导出该目标的规则集，按规则置信度大小依次选取这些规则。若某条规则的前提与数据库中的事实相匹配，则执行该规则；否则将该规则的前提作为子目标，递归执行刚才的过程，直到总目标被求证或者没有搜索到能导出总目标的规则。

3 FMS 加工设备故障诊断专家系统实例

我们以国防柔性制造技术应用网点的 JCS—020 加工中心 (FANUC 控制系统) 为背景，建立的 FMS 加工设备状态监测与故障诊断系统是基于 PLC 信息与多传感器状态监测信息相结合来进行故障诊断和定位的。以图 4 主轴伺服故障 Petri nets 为例，“主轴伺

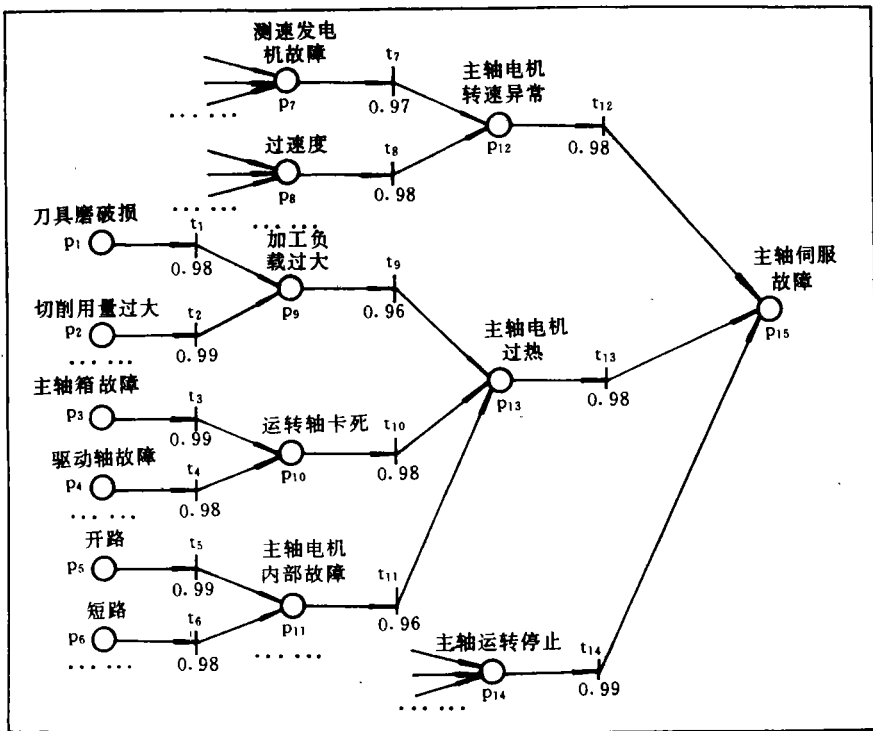


图 4 主轴伺服故障模糊 petri Nets

服故障报警”为 PLC 报警代码查询所得故障名,通过对 PLC 过程状态信息的详细剖析,知这一报警码由图上 p_{12} , p_{13} , p_{14} 等原因造成,进一步能分析出更深一层的故障原因。根据多传感器状态监测的综合决策信息、PLC 信息及用户回答,通过模糊推理算法能定位故障原因为 p_1 , p_2 , 其置信度分别为 0.973、0.801。

以上研究表明,对模糊产生式规则提出模糊 Petri 网模型,能很好地表述和处理模糊知识,实现并行推理机制,使得逻辑推理具有图形直观性和便于在计算机上实现。基于 FPN 模型的模糊反向推理算法,能提高故障诊断专家系统快速诊断故障的效率,其诊断推理与客观现实相符。实验证明,基于模糊 FPN 模型建立的 FMS 加工设备故障诊断专家系统是可行的、有效的。

参 考 文 献

- 1 林闯.用 Petri 网表示知识.计算机学报,1992,15(1):1~16
- 2 Lin N K. An Approach Towards the Verification of E. S. Using NPNS. Int. J. of Inte. Systems, 1991, 6(3):255~276
- 3 Agarwal R. A Petri-net Based Approach for Verifying the Integrity of Production Systems. Int. J. of Man-Machine Studies, 1992, 36(3):447~468
- 4 Yeung D S, Tsang E C C. Fuzzy Knowledge Representation and Reasoning Using Petri Nets. Int. J. of Expert Syst. Appl, 1990, 7(2):281~289
- 5 Chen S M. J S Ke and Chang J F. Knowledge Representation Using Fuzzy Petri Nets. IEEE Trans. Knowl. Data Eng: 1990, (2):311~319
- 6 Yeung D S, Tsang E C C. Improved Fuzzy Knowledge Representation and Rule Valuation Using Fuzzy Petri Nets and Degree of Subsethood. Int. J of Int. Systems, 1994, 9:1083~1100
- 7 蔡之华.用 Petri 网表示产生式知识.微型计算机,1995,15(5):49~52
- 8 袁崇义.佩特里(Petri)网.南京:东南大学,1989
- 9 邱静,温熙森,唐丙阳.柔性制造单元状态监控与故障诊断的综合决策模型与策略.国防科技大学学报,1995,17(2):19~26
- 10 彭智华.基于模糊 Petri 网的 FMS 加工中心故障诊断专家系统研究.[学位论文],长沙:国防科技大学,1996

(责任编辑 卢天贶)