



## 基于默认推理的加权模糊 Petri 网模型

徐 欢<sup>1</sup>, 李孝忠<sup>2</sup>

(1. 天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222;  
2. 天津科技大学计算机科学与信息工程学院, 天津 300222)

**摘 要:** 在实际推理过程中,默认推理是一种重要的手段或方法. 提出了一种基于默认推理的加权模糊 Petri 网模型,在现有的九元组模型基础上增加了变迁的输入库所最小权重的阈值函数  $C$  这一模型参数,此参数由专家根据变迁的不同实际意义来取值. 分别对三种基本的模糊产生规则进行分析,讨论  $C$  的取值,并在此基础上给出了相应的默认推理算法. 最后,通过实例说明此模型可以很好的用于默认推理,且推理算法简单、直观,更贴近现实推理并可以提高推理效率.

**关键词:** 模糊知识; 加权模糊 Petri 网; 默认推理

**中图分类号:** TP182      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-6510 (2007) 04-0064-04

### A Weighted Fuzzy Petri Net Model Based on Default Reasoning

XU Huan<sup>1</sup>, LI Xiao-zhong<sup>2</sup>

(1. College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China; 2. College of Computer Science and Information Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** Default reasoning is an important method for the real-life reasoning process. A kind of weighted fuzzy Petri net model based on default reasoning was proposed in the paper. Based on the 9-tuple model, a new parameter  $C$  which named threshold function of the inputs place's least weight was increased in this model. The value of  $C$  was determined by the experts according to the real significance of each transition. Against to three basic fuzzy production rules of the model, the value of  $C$  was discussed in detail. And then a default reasoning algorithm is programmed. Using an example to test the algorithm at the last, the results show that the model is suitable for the default reasoning. The algorithm is simple, easy to understand and can improve the efficiency of the reasoning process.

**Keywords:** fuzzy knowledge; weighted fuzzy Petri net; default reasoning

Petri 网是一种适合于描述异步并发现象的数学建模工具,在人工智能领域中得到越来越广泛的应用<sup>[1]</sup>. 但现实世界有很多不确定性知识及模糊知识,普通 Petri 网在处理模糊命题时则显得无能为力,因此产生了模糊 Petri 网模型 (FPN)<sup>[2]</sup>,它结合了 Petri 网的图形描述能力,使得知识的表示简单、清晰,并且具有模糊系统的模糊推理能力,便于知识的分析、推理、测试,以及决策支持等<sup>[3-6]</sup>. 加权的模糊 Petri 网<sup>[7]</sup>考虑了产生式规则中各子前提对于规则的重要程度——权值,更加贴近现实知识系统的原型,因此

被广泛地用于知识表示与推理过程中. 然而,一方面由于人们对世界的认知总是不完全的,常有一些没有认识到或未验证的知识,也就是说有些规则的某些子前提难以验证,这就导致这些推理无法进行;另一方面,在一些不需要严格逻辑的常识推理中,验证所有的子前提是费时的且不必要. 事实上,在现实推理中,往往存在着默认推理的现象<sup>[8]</sup>.

正是基于这两方面的考虑,本文提出一种基于默认推理的加权模糊 Petri 网模型,并给出了相应的默认推理算法,此算法可以应用于知识不完备的场

收稿日期: 2007-01-16; 修回日期: 2007-05-30

基金项目: 天津市高等学校科技发展基金资助项目 (20041612)

作者简介: 徐 欢 (1984—), 女, 江西人, 硕士研究生.

合. 一些在先前存在的加权模糊 Petri 网中无法启动的规则若满足一定条件, 通过默认推理就可以得以实现. 这种默认推理更加贴近现实推理, 易于理解且可以节省前提库所置信度的验证时间, 提高推理效率.

### 1 加权模糊 Petri 网

定义 1<sup>[7]</sup> 加权模糊 Petri 网是一个九元组:

$$WFPN = (P, T, D, I, O, \alpha, \beta, T_h, W)$$

其中:  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  表示库所集;  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  表示变迁集;  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$  表示命题集;  $P \cap D = \Phi$  且  $|P| = |D|$ ;  $I(O): T \rightarrow P^\infty$  为输入(输出)函数, 表示库所与变迁之间的映射关系;  $\alpha: P \rightarrow [0, 1]$ , 表示库所对应的命题的置信度;  $\beta: P \rightarrow D$ , 是库所与命题间的一一对应关系,  $\beta(D) = P$ ;  $T_h: P \rightarrow [0, 1]$ , 表示每个库所置信度的阈值,  $T_h = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ . 对于任意的变迁  $t$ , 只有当其输入库所的置信度  $\alpha(p)$  都大于其阈值时,  $t$  才能触发;  $W$  包括  $W_i$  和  $W_o$ , 分别表示输入权值和输出权值,  $W_i$  和  $W_o$  都在  $[-1, 1]$  间取值,  $W_i$  为正表示输入库所对变迁产生积极影响, 反之产生消极影响;  $W_o$  为正表示变迁对输出库所产生积极影响, 反之亦然.

若变迁  $t$  的输入函数为  $I(t) = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , 输入权值函数为  $W_i = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}\}$ , 且满足:  $w_{i1} + w_{i2} + \dots + w_{in} = 1$ . 这种加权的模糊 Petri 网在知识不完备的情况下不能进行推理. 如图 1 所示的加权模糊 Petri 网中,  $T_h = \{0.8, 0.7, 0.8\}$ ,  $W_i = \{0.73, 0.22, 0.06\}$ ,  $W_o = CF = 0.95$ ,  $\alpha(p_1) = 0.9$ ,  $\alpha(p_2) = 0.8$ ,  $\alpha(p_3)$  未知. 因此,  $t$  不满足触发条件, 推理无法进行. 而实际上可以观察到,  $w_{i3}$  很小, 也就是说它对这个变迁的影响很小. 若  $w_{i3}$  小到一定的程度, 可以不必求证它的置信度, 而直接触发  $t$ , 这样往往不会产生错误的推理结果, 而只对结论的置信度有微弱的影响.

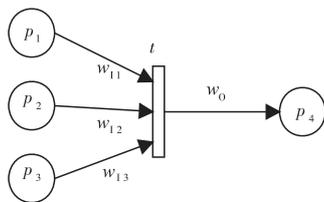


图 1 加权模糊 Petri 网示例  
Fig. 1 A weighted fuzzy Petri net

在实际推理中, 往往也是这样处理的. 比如说: 电脑正常使用的前提有很多(电源正常, 显示器正

常, 主机正常等), 而往往一看电源接通了, 就直接使用电脑, 而不去验证其他的前提条件, 其实也就是采用了默认推理. 因此可以提出如下的基于默认推理的加权模糊 Petri 网模型.

### 2 基于默认推理的加权模糊 Petri 网

定义 2 基于默认推理的加权模糊 Petri 网模型定义为一个十元组:

$$MFPN = (P, T, D, I, O, \alpha, \beta, T_h, W, C)$$

其中前九个元组的意义和加权模糊 Petri 网相同.  $C: T \rightarrow [0, 1]$  表示变迁的输入库所最小权重的阈值,  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ . 下面分别就三类模糊产生式规则(FPR)来讨论  $C$  的取值.

#### 2.1 简单的产生式规则

IF  $D$  THEN  $Q, \lambda, W, CF = \mu$

此类型的规则如图 2 所示, 显然  $w_i = 1$ , 因此  $C(t) = 0$ , 也就是说必须满足  $D$  的可信度  $\alpha(p) \geq \lambda$ , 变迁  $t$  才能触发.

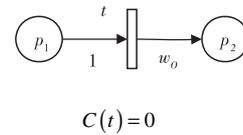


图 2 第一类产生式规则  
Fig. 2 FPR type 1

#### 2.2 “OR”型产生式规则

IF  $D_1$  OR  $D_2$  OR...OR  $D_n$  THEN  $Q, \lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n, w_{o1}, w_{o2}, \dots, w_{on}, (CF = \mu)$ .

如图 3 所示, 每个变迁的输入库所只有一个, 因此:  $c(t_1) = c(t_2) = \dots = c(t_m) = 0$ , 也就是必须满足每个变迁的前提条件  $D$  的可信度  $\alpha(p_i) \geq \lambda_i, i = 1, 2, \dots, n$ , 对应变迁才能触发.

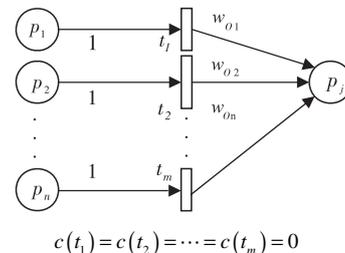


图 3 第二类产生式规则  
Fig. 3 FPR type 2

#### 2.3 “AND”型产生式规则

IF  $D_1$  AND  $D_2$  AND...AND  $D_n$  THEN  $Q, \lambda,$

$\lambda_2, \dots, \lambda_n, w_{11}, w_{12}, \dots, w_m, \omega_o (CF = \mu)$

此类型的变迁如图 4 所示, 其中:

$$I(t) = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, w_{11} + w_{12} + \dots + w_m = 1$$

此时, 可以根据变迁的实际意义, 参考专家意见及以往经验来设定具体的  $c(t)$  值, 若某个库所  $p_k$  的权值  $w_k$  小于  $c(t)$ , 那么可以免于对这个库所对应的命题的置信度进行验证, 直接进行默认推理, 也就是说只要其他前提条件的置信度满足:

$$\alpha(p_i) \geq \lambda_i, i = 1, 2, \dots, n, \text{ 且 } i \neq k$$

变迁  $t$  就可以触发.

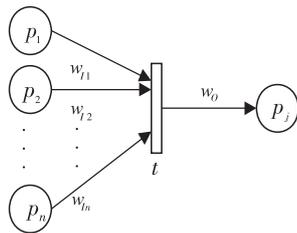


图 4 第三类产生式规则

Fig. 4 FPR type 3

### 2.4 推理算法

在文献[7, 9]的基础上, 给出如下的基于默认推理的推理算法:

(1) 令可启动变迁集  $A = \{ \}$ , 事实集  $B$  初始化为前提集  $C$ , 即  $B = C$ ;

(2)  $\forall t \in (T - A)$ , 若满足触发条件 1 或 2, 则  $t$  触发,  $A = A + \{t\}$ , 转步骤 (3);

条件 1:  $\forall p_i \in I(t)$ , 满足  $\alpha(p_i) \geq \lambda_i, i = 1, 2, \dots, n$ ;

条件 2:  $\exists p_k \in I(t), k = 1, 2, \dots, n$ , 其置信度  $\alpha(p_k)$  未知, 其余输入库所置信度  $\alpha(p_i) \geq \lambda_i, i = 1, 2, \dots, n, i \neq k$ , 且满足  $w_k < c(t)$ ;

(3) 若  $A = \{ \}$ , 转步骤 (4), 否则按式 (1) 计算  $t$  触发后输出库所的置信度. 其中满足条件 2 的变迁的触发过程即为默认推理, 令  $\alpha(p_k) = 0$ ;  $B = B + O(t), A = A - \{t\}$ , 转步骤 (2);

$$\alpha(p_j) = \mu * (\min \lambda_i + (\alpha(p_i) - \lambda_i) w_{i1}) \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

(4) 若结论在事实集中, 则目标得证, 否则不可证; 推理结束.

## 3 实例

某公司招聘员工时使用的部分规则为

规则 1: IF  $D_1$  AND  $D_2$  AND  $D_3$  THEN  $D_7$ ,  $\lambda_1=0.4, \lambda_2=0.8, \lambda_3=0.5, w_{11}=0.45, w_{12}=0.5, w_{13}=0.05, c(t_1)=0.1, CF=\mu_1=0.98$ ;

规则 2: IF  $D_4$  OR  $D_5$  OR  $D_6$  THEN  $D_8$ ,  $\lambda_4=0.5, \lambda_5=0.7, \lambda_6=0.6, w_{21}=0.73, w_{22}=0.25, w_{23}=0.02, c(t_2)=0.08, CF=\mu_2=0.9$ ;

规则 3: IF  $D_7$  AND  $D_8$  THEN  $D_9$ ,  $\lambda_7=0.4, \lambda_8=0.3, w_{31}=0.55, w_{32}=0.45, c(t_3) = 0, CF=\mu_3=0.95$ .

其中:  $D_1$  表示编程能力强;  $D_2$  表示软件应用能力好;  $D_3$  表示打字速度快;  $D_4$  表示有工作经验;  $D_5$  表示表达能力好;  $D_6$  表示有其他特长;  $D_7$  表示专业能力强;  $D_8$  表示社会技能强;  $D_9$  表示录用.

此推理规则的模糊 Petri 网模型如图 5 所示, 已知:

$$\alpha(p_1) = 0.8, \alpha(p_2) = 0.9$$

$$\alpha(p_3) = 0, \alpha(p_4) = 0.9$$

$$\alpha(p_5) = 0.8, \alpha(p_6) = 0$$

注意到  $w_{13} < c(t_1), w_{23} < c(t_2)$ , 根据前面给出的推理算法,  $t_1$  和  $t_2$  满足触发条件 2, 属于默认推理;  $t_3$  满足触发条件 1. 由式 (1) 得:

$$\alpha(p_7) = 0.593, \alpha(p_8) = 0.725, \alpha(p_9) = 0.567$$

若已知  $\alpha(p_3) = 0.6, \alpha(p_6) = 0.7$ , 则  $t_1, t_2, t_3$  都满足触发条件 1, 由式 (1) 得:

$$\alpha(p_7) = 0.622, \alpha(p_8) = 0.737, \alpha(p_9) = 0.588$$

比较结果发现: 这种默认推理只会在很小程度上改变结论的置信度, 几乎可以忽略不计.

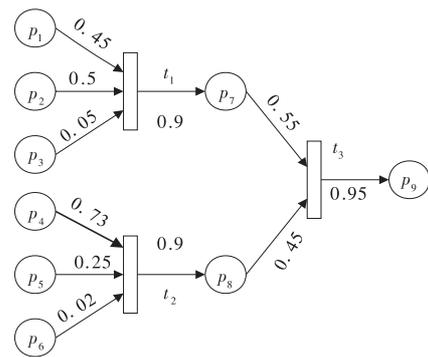


图 5 基于默认推理的模糊 Petri 网模型

Fig. 5 FPN model based on default reasoning

## 4 结 语

针对实际推理中的默认推理方法, 提出了一种基于默认推理的加权模糊 Petri 网模型. 此模型能适合于逻辑严格和不严格规则的不同应用要求, 具有通用

性,更接近于现实推理.若变迁的输入库所最小权重的阈值函数  $C$  为 0,则此模型演变为普通的加权模糊 Petri 网模型,也就是说,现有的加权模糊 Petri 网模型是它的一个特例.只要根据各领域专家的经验来合理选择函数  $C$ ,就可以有效避开不必要的变迁前置置信度的验证,从而提高推理效率.

#### 参 考 文 献:

- [1] 姜浩,罗军舟,方宁生.模糊 Petri 网在带权不精确知识表示和推理中的应用研究[J].计算机研究与发展,2003,37(8):918—923.
- [2] 刘剑刚,高洁,王明哲.模糊 Petri 网及其在模糊推理中的应用[J].计算机仿真,2004,11(21):152—154.
- [3] 贾立新,薛钧义,茹峰.采用模糊 Petri 网的形式化推理算法及其应用[J].西安交通大学学报,2003,12(37):1263—1266.
- [4] LI Xiaoou, Lara-Rosano F. A daptive fuzzy Petri net for dynamic knowledge representation and inference [J]. Expert System with Applications, 2000, 19: 235—241.
- [5] 鲍培明.基于查询方式的模糊 Petri 网的推理算法[J].计算机工程,2004,4(30):70—72.
- [6] 杨其宇,张霞.模糊 Petri 网故障诊断技术应用[J].兵工自动化,2006,4(25):73—74.
- [7] LI Xiaoou, Lara-Rosano F. A Weighted fuzzy Petri net model for knowledge learning and reasoning [J]. IEEE Tans Syst, Man, Cybern, 1999, 12(4): 2368—2372.
- [8] 蔡自兴.人工智能控制[M].北京:化学工业出版社,2005:51—53.
- [9] 林涛.基于模糊 Petri 网的知识推理与维护系统的设计[D].长沙:长沙理工大学,2004.

## 科技论文的规范表达

### 结 论

结论不是研究结果的简单重复,而是对研究结果更深入一步的认识,是从正文部分的全部内容出发,并涉及引言的部分内容,经过判断、归纳、推理等过程而得到的新的总观点。其内容要点是:

(1) 本研究结果说明了什么问题,得出了什么规律的东西,解决了什么理论或实际问题;

(2) 对前人有关本问题的看法作了哪些检验,哪些与本研究结果一致,哪些不一致,作者作了哪些修正、补充、发展或否定;

(3) 本研究的不足之处或遗留问题。

对于某一篇论文的“结论”,上述要点(1)是必需的,而(2)和(3)视论文的具体内容可以有,也可以没有;如果不可能导出结论,也可以没有结论而进行必要的讨论。