

模糊 Petri 网及其在 Web 服务信任评估中的应用*

李 季, 朱小勇

(重庆大学 计算机学院, 重庆 400044)

摘要: 为了提高 Web 服务的信任评估准确度和交互成功率, 提出了一种新的基于模糊 Petri 网的 Web 服务信任评估模型 (WS-TEM)。该模型给出了评估的模糊信任规则, 在此基础上, 提出了一种基于模糊 Petri 网的推理算法, 并使用模糊 Petri 网中知识表示和运行的基本算法, 并行处理一个服务实体的多个推荐信任来综合评估 Web 服务实体间的信任关系。经过模拟实验和分析表明, 该模型在 Web 服务信任评估上更加准确可靠, 从而降低了交互的风险, 保证了交互的成功率。

关键词: 信任评估模型; 信任度更新算法; 模糊 Petri 网; 模糊推理算法

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)02-0573-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.02.047

Fuzzy Petri net and its application in Web services trust evaluation

LI Ji, ZHU Xiao-yong

(School of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of trust evaluation and the success rate of interaction of Web services, this paper proposed a new Web services trust evaluation model WS-TEM based on the fuzzy Petri net. This model gave the fuzzy trust rules of evaluation, based on it, proposed a reasoning algorithm based on the fuzzy Petri net. This model used the knowledge of fuzzy Petri net to represent and run basic algorithm which applied to comprehensive evaluation trust relation of Web services entities by parallel processing of more than one recommended trust. The result of simulative experiment and analysis show that this model on the trust evaluation of Web services becomes more accurate and reliable, consequently the interaction risk is reduced and ensured the success rate of interaction.

Key words: trust evaluation model; trust value update algorithm; fuzzy Petri net; fuzzy reasoning algorithm

在 Web 服务环境中, 实体间的交互和协作行为更加普遍, 服务请求者和服务提供者需要建立在彼此信任的基础上, 因此信任问题在 Web 服务环境中变得越来越重要。传统的信任关系研究呈现的是一种确定性的基于策略的客观信任关系, 实体之间的信任只有信任和不信任, 如 PKI 中的证书、访问控制中的 ACL 等。由于这些客体规定了严格的信任关系, 应用在 Web 服务信任评估上不能对实体间信任关系的主观性、模糊性、不确定性作出推理判断。

在对 Web 服务信任评估的模糊性、不确定性的推理判断中, 由于模糊 Petri 网^[1]更符合人类的思维和认知方式, 描述和分析 Web 服务信任关系的模糊性和并发性具有广泛的意义。本文提出了一种基于模糊 Petri 网的 Web 服务信任评估模型 (WS-TEM), 该模型通过综合初始实体的初始感知度 (对目标实体的主观性度量) 和推荐信任来综合评估目标实体的信任度, 以便与目标实体建立直接的信任关系。

1 Web 服务信任评估模型

1.1 Web 服务信任评估模型 (WS-TEM)

Web 服务基于 SOA (service oriented architecture) 模型, 该模型由三个参与者和三个基本的操作组成。三个参与者分别

是服务提供者 (service provider, SP)、服务请求者 (service requester, SR)、服务注册中心 (service register center, SRC)。三个基本操作分别为发布 (publish)、查找 (find) 和绑定 (bind), 某一个节点可能是 SR 和 SP 的混合体, 本文统称为实体。WS-TEM 信任评估模型是对 SOA 模型进行扩展, 增加了信任的第三方机构——服务信任模块 (service trust module, STM), 如图 1 所示。STM 由四大部分组成, 分别为信任管理引擎、模糊推理机、数据采集器和交互记录数据库。信任管理引擎负责对 Web 服务实体的信任度进行查询、发布、决策以及提供推荐实体等功能; 模糊推理机负责对目标实体的信任度进行模糊推理及模糊判断; 数据采集器负责从交互记录数据库中收集 Web 服务实体的信任度, 并给模糊推理机提供数据支持; 交互记录数据库集中保存 Web 服务实体的历史交互记录。

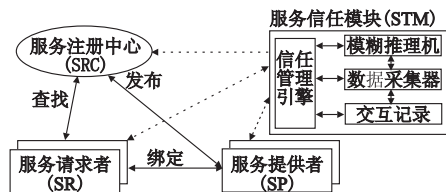


图1 WS-TEM信任评估模型

在 WS-TEM 模型中存在多种信任关系, 如服务注册中心 (SRC) 对服务提供者 (SP) 的信任; 服务提供者对于服务注册

收稿日期: 2009-06-12; 修回日期: 2009-09-04 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (90818028)

作者简介: 李季 (1972-), 男, 讲师, 博士, 主要研究方向为网络计算、可信计算等; 朱小勇 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为 Web 服务 (zhuxy158@163.com).

中心、服务请求者 (SR) 的信任等。假设 SR、SP 和 SRC 均对 STM 完全信任,在进行访问控制时只考虑服务请求者和服务提供者的信任度。而在 WS-TEM 模型中一个实体既可以是服务请求者也可以是服务提供者,这样一个 Web 服务实体在 WS-TEM 模型中就存在两种类型的信任度和两种类型的初始信任度,分别是实体作为服务请求者的信任度和实体作为服务提供者的信任度以及初始实体对目标实体的主观性度量(初始感知度)和目标实体对初始实体的访问控制阈值(初始信任阈值)。为描述方便作如下定义:

定义 1 在 WS-TEM 模型中, T_R 代表服务实体 S 作为服务请求者的信任度, T_P 代表服务实体 S 作为服务提供者的信任度。

定义 2 在 WS-TEM 模型中, G_e 代表初始实体对目标实体的主观性度量,即为初始感知度, V_e 代表目标实体对初始实体的访问控制阈值即为初始信任阈值。

定义 3 在 WS-TEM 模型中为了最后决策方便,令 T_e 代表实体的综合信任度, R_T 代表实体的推荐信任度。

定义 4 Web 服务实体的信任度是一个动态演化的过程,因此令 T_{wi} 表示服务实体在 i 次更新后的信任度, T_{ei} 表示第 i 次交互后,初始实体对目标实体的信任评估值。

1.2 Web 服务实体信任关系建立及信任度更新算法

Beth 信任度评估模型^[2]将信任分为直接信任和推荐信任,直接信任定义为“若实体 P 对实体 Q 的所有(包括直接的或有推荐获得的)经验均为肯定经验,则 P 对 Q 存在直接信任关系”。但由于 Beth 模型对直接经验定义过于严格,仅采用肯定经验对信任关系进行度量,另外,其信任度综合计算采用简单的算术平均,因此对目标实体不能很好地作出评估。本文定义直接信任为:两个曾经有过历史交互经验的实体,根据交互经验对对方的一种直接信任关系。推荐信任定义为:两个没有历史交互经验的实体,根据其他实体的推荐而建立的一种信任关系。其相互关系如图 2 所示。

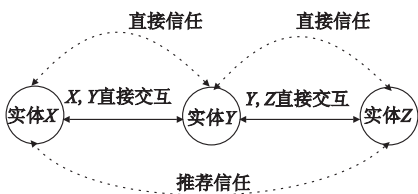


图2 直接信任与推荐信任关系

图 2 中实体 X 与 Y, Y 与 Z 曾经有过历史交互经验,所以它们之间的信任关系是直接信任;实体 X 与 Z 之前没有历史交互经验,如果它们之间要进行交互,只能通过别的实体的推荐(如实体 Y)。在 WS-TEM 模型中服务实体信任关系建立及信任度更新算法如下:

```

输入:服务请求者→SR,服务提供者→SP;
输出:服务实体的信任度  $T_{ws}$ 。
if SR 向 STM 查询 SP 交互记录 then
输出  $T_p = \text{table}(SR, SP, T_p, G_e, V_e, \text{time})$ 
//提取交互记录表中的信任度  $T_p$ 
 $G_e = \text{table}(SR, SP, T_p, G_e, V_e, \text{time})$ 
//提取交互记录表中的初始感知度  $G_e$ 
 $V_e = \text{table}(SR, SP, T_p, G_e, V_e, \text{time})$ 
//提取交互记录表中的初始信任阈值  $V_e$ 
if  $T_p \geq V_e$  then
输出“信任实体”
向 STM 收集多个推荐信任实体,求得综合推荐信任度  $R_T$ 
  
```

```

 $T_e = \alpha G_e + \beta R_T, (\alpha + \beta = 1)$  //获得当前实体交互后的信任度
 $T_{ws} = \frac{1}{2} \varphi_i T_p + (1 - \frac{1}{2} \varphi_i) T_e / *$  更新实体的信任度,  $\varphi_i$  表示时间
衰减因子,且  $\varphi_i = (t_i - t_0) / \sum_{i=1}^k (t_i - t_0) *$  /
else
输出“不信任实体”
end if
else
STM 收集多个推荐信任实体,求得综合推荐信任度  $R_T$ 
输出  $T_e = \alpha G_e + \beta R_T, (\alpha + \beta = 1)$ 
//获得目标实体的综合推荐信任度
if  $T_e \geq V_e$  then
输出“信任实体”
 $T_p = T_e$  //更新实体的信任度
else
输出“不信任实体”
end if
end if
  
```

通过以上算法可以看出,WS-TEM 信任模型可以有效地建立实体间信任关系及更新实体信任度。接下来将介绍 WS-TEM 模型的重要组成部分——模糊信任推理机。

2 基于模糊 Petri 网的 Web 服务信任评估

2.1 模糊 Petri 网的知识表示方法

模糊 Petri 网提供了一种对模糊知识进行有效表达和推理的工具,由于更符合人类的思维和认知方式,在描述和分析 Web 服务信任关系乃至社会系统的交互和并发行为时具有广泛的意义。Petri 网包括库所(place)和变迁(transition)两部分,库所用“O”表示,变迁用“l”表示,则一般的推理规则可简单地表示为

$$\text{if } R_1(\alpha_1) \text{ and } R_2(\alpha_2) \text{ and } R_3(\alpha_3) \text{ and } \dots \text{ and } R_n(\alpha_n) \\ \text{then } \xrightarrow{l} E_1(\beta_1), E_2(\beta_2), E_3(\beta_3), \dots, E_m(\beta_m)$$

其中: R_1, R_2, \dots, R_n 表示在 Web 服务信任评估中有 n 个推荐信任实体; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ 为推荐信任实体在推荐路径中的权重系数,满足 $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 (i = 1, 2, 3, \dots, n)$; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ 为每个推理结论的可信度,满足条件 $0 \leq \beta_k \leq 1 (k = 1, 2, 3, \dots, m)$; τ 为规则可实现的阈值,满足 $0 < \tau < 1$ 。此表达式的含义为:如果 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ 推荐信任成立,则可以推出结论 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_m$ 。用模糊逻辑表达式表示为

$$R_1 \times \alpha_1 \ R_2 \times \alpha_2 \ R_3 \times \alpha_3 \ \dots \ R_n \times \alpha_n \xrightarrow{\tau} \\ E_1(\beta_1), E_2(\beta_2), E_3(\beta_3), \dots, E_m(\beta_m)$$

转换为模糊 Petri 网模型^[3],如图 3 所示。此模型中,条件和结论命题用 Web 服务中的推荐信任和直接信任表示,推理规则用变迁节点表示,条件的权重系数和结论的信任度分别用输入/输出弧线的连接强度来表示。接下来将给出基于推理规则的 Web 服务信任模糊 Petri 网的十元组表示法:WS-FPN = $(E, W, I, O, \alpha, \tau(t), T_0(E), G_e, V_e, T_{ws})$ 为 Web 服务模糊 Petri 网模型(WS-FPN)。其中:

- a) $E = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_n\}$ 是 Web 服务实体节点的有限集合,在模糊 Petri 网中表示模糊库所节点。
- b) $W = \{W_1, W_2, W_3, \dots, W_m\}$ 是 Web 服务实体推荐路径的有限集合,在模糊 Petri 网中表示模糊变迁节点的有限集合和规则的实现。
- c) I 是定义在 $E \times W$ 上的一个带标志的模糊关系,表示初始实体到推荐实体的推荐路径的连接情况和每个连接的权重

系数,满足 $0 < I(E_i, W_j) \leq 1$ 。

d) O 是定义在 $W \times E$ 上的一个带标志的模糊关系,表示推荐信任到初始实体的连接情况和每个输出连接的可信度, $0 < O(W_i, E_j) \leq 1$ 。

e) $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n\}$ 是表示推荐实体在每条推荐路径中所占的权重,在模糊 Petri 网中表示每个规则前件在规则推理中所占的权重, $0 \leq \alpha_i \leq 1, \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 。

f) $\tau = [\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_m]^T$ 是推荐路径的初始信任阈值的集合,在模糊 Petri 网中是定义在变迁集合 W 上的一个取值变量, $0 \leq \tau_j \leq 1, j=1, 2, \dots, m$ 表示变迁节点的触发阈值。

g) $T_0(E)$ 是定义在 Web 服务实体节点集合 E 上的一个取值 $[0, 1]$ 中实数的函数,在模糊 Petri 网中表示库所节点在推理开始时的初始标记状态,即已知命题的可信度,未知命题的可信度定义为 0。

h) G_e 为 Web 服务信任在评估前的初始实体对目标实体的初始感知度, $0 < G_e \leq 1$ 。

i) V_e 为 Web 服务信任在评估前的初始实体对目标实体的初始信任阈值,在模糊 Petri 网中表示规则命题推理前的初始信任阈值。

j) $T_{ws} = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$ 为 Web 服务实体的综合信任度集合,在模糊 Petri 网中表示在 W 上的最终推理得到的结果与初始信任阈值 V_e 的加权合成。

2.2 WS-FPN 的形式推理算法

本文采用文献[3]中模糊 Petri 网 FPN 的形式推理方法,该方法应用到 Web 服务模糊 Petri 网 WS-FPN 中存在以下缺陷:对 Web 服务信任关系评估中缺乏初始实体对陌生实体的主观性判断;在综合信任度计算时缺乏对最终推理结果进行权重分配。针对上述缺陷,笔者对其作如下改进:

首先设 Web 服务信任评估过程中有 n 个推荐实体, m 条推荐路径, WS-FPN 模型的输入矩阵 $\text{int}_{n \times m}$, 输出矩阵 $\text{out}_{n \times m}$, 变迁的阈值向量 τ 和状态信任向量 T 分别定义如下:

a) $\text{Int} = \{\delta_{ij}\}$ 为输入矩阵, $\delta_{ij} \in [0, 1]$, 表示 E_i 到 W_j 上的输入关系和权重。当两个实体之间存在推荐路径, δ_{ij} 等于 E_i 到 W_j 输入弧上的权系数 α_{ij} ; 当两个实体之间不存在推荐路径, $\delta_{ij} = 0 (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$ 。

b) $\text{Out} = \{\lambda_{ij}\}$ 为输出矩阵, $\lambda_{ij} \in [0, 1]$, 表示 W_j 到 E_i 输出关系和结论的可信度。当 E_i 是 W_j 的输出时(由直接信任和推荐信任组成的一条推荐信任路径的可信度), λ_{ij} 等于变迁 W_j 推出结论 E_i 的可信度 β_j ; 当 E_i 不是 W_j 输出时, $\lambda_{ij} = 0 (i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m)$ 。

c) $T = [t_1, t_2, t_3, \dots, t_n]^T$ 为定义在 E 上的状态信任向量, 表示各推荐路径的可信度, $t_i \in [0, 1] (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 。

d) $\tau = [\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_m]$ 为推荐路径的变迁阈值, $\tau_i \in [0, 1] (i=1, 2, 3, \dots, m)$ 。

结合推理算法的需要,首先定义以下算子:

1) 乘法算子

$$\cdot : A \cdot B = C, A = (a_{ij})_{n \times m}, B = (b_{ij})_{m \times n}, C = (c_{ij})_{n \times n}$$

2) 取大数算子

$$\oplus : A \oplus B = C, A, B, C \text{ 都是 } n \text{ 维的列向量}, c_i = \max(a_i, b_i)$$

3) 直接乘法算子

$$\otimes : A \otimes B = C, A, B, C \text{ 都是 } n \text{ 维的列向量}, c_i = (a_i \cdot b_i)$$

4) 比较算子

$$\Theta : A \Theta B = C, A, B, C \text{ 都是 } n \text{ 维的列向量}, \text{if } a_i \geq b_i$$

$$\text{then } c_i = 1 \text{ else } c_i = 0$$

WS-FPN 推理算法如下:

输入: 权重矩阵 int , 规则可信矩阵 out , 规则阈值数组 τ , 初始信任度数组 T_0 , 初始感知度 G_e , 初始信任阈值 V_e , 主观决策权重 α, β ;
输出: 目标实体的信任度 T_{ws} 。

a) $T_E = \text{Int}^T \cdot T_0$; // 计算等效模糊输入可信度

b) $G = T_E \Theta \tau$; // 模糊输入可信度与变迁阈值的比较

c) $H = T_E \otimes G$;

// 剔除等效模糊输入可信度小于等于推荐路径变迁阈值的输入项

d) $T^1 = \text{out} \cdot H$; // 计算模糊输出库所的可信度

e) $T_1 = T_0 \oplus T^1$; a); // 计算当前可得到的所有命题的可信度, 并转到 a) 进行反复迭代

f) $T_K = T_{K-1} \oplus T^K$; // 经过 K 次迭代后所有结论的可信度

g) if $T_K = T_{K-1}$ then $T_K = T_{K-1}$ else a) end if

// 当推理计算不再使任何结论的可信度发生变化时, 推理结束

h) $T_{ws} = \alpha \cdot G_e + \beta \cdot T_K$; if $T_{ws} \geq V_e$ then success else cancel

end if // 合成推理的最终结果并作出决策判断

2.3 WS-FPN 算法对 Web 服务信任评估及实例分析

运用 2.1 节中模糊 Petri 网的知识表示方法并结合 Web 服务信任评估的模糊推理算法 WS-FPN, 可以得到 Web 服务信任模糊 Petri 网模型^[6], 如图 4 所示。

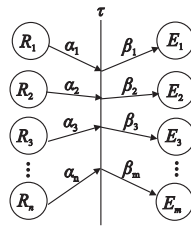


图3 一般性推理规则的模糊Petri网模型

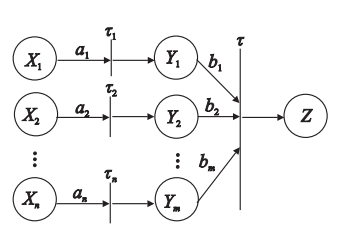


图4 Web服务信任模糊Petri网模型

图 4 中各库所和输出弧线的连接强度代表的物理含义: X_1 表示第一个推荐信任实体, a_1 表示其推荐信任度, X_n 表示第 n 个推荐信任实体, a_n 表示其推荐信任度; Y_1 表示接受第一推荐信任实体, b_1 表示接受信任度, Y_m 表示接受第 m 个推荐信任实体, b_m 表示接受信任度; Z 表示获得交互实体的信任度; 在 Web 服务信任模糊 Petri 网中 $X_1 \xrightarrow{a_1} Y_1 \xrightarrow{b_1} Z$ 表示一条完整的推荐信任路径, 以下是具体的实例分析:

本文参考文献[6]中的实例并加以修改验证, 应用到 WS-TEM 信任模型中, 若在 WS-TEM 信任模型中实体 X (服务请求者) 想要与实体 Z (服务提供者) 进行交互, 但 X 的历史交互信任表中没有 Z 的交互记录, 因此 X 首先通过 STM 收集到有四个推荐实体 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 分别向 X 推荐信任 Z , 已知 X 对 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 的直接信任度和 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 对 Z 的直接信任度, 求 X 对 Z 的综合信任度 T_{ws} 。 X 与 Z 的信任关系如图 5 所示。

定义 WS-FPN 信任推理规则如下:

规则 1 if $U_1(0.6)$ and $U_2(0.4)$ then $(\tau_1 = 0.4) U_9$ (规则可信度 0.86)。

规则 2 if $U_3(0.5)$ and $U_4(0.5)$ then $(\tau_2 = 0.4) U_{10}$ (规则可信度 0.9)。

规则 3 if $U_5(0.7)$ and $U_6(0.3)$ then $(\tau_3 = 0.4) U_{11}$ (规则可信度 0.8)。

规则 4 if $U_7(0.6)$ and $U_8(0.4)$ then $(\tau_4 = 0.4) U_{12}$ (规则可信度 0.95)。

规则 5 if $U_9(0.3)$ and $U_{10}(0.3)$ and $U_{11}(0.2)$ and $U_{12}(0.2)$ then $(\tau_5 = 0.2) U_{13}$ (规则可信度 0.85)。其中: U_{1-8} 表

示 X 和 Z 信任路径上的直接信任度; U_{9-12} 表示 X 接受推荐实体的推荐; U_{13} 表示 X 信任 Z , 条件括号里的数值表示推荐信任在该规则中所占的权重; $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$ 分别表示规则触发的阈值, 每条规则后面为规则的可信度, U_1 and $U_2 \rightarrow U_9$ 表示一条完整的推理路径, 即每条规则在 Web 服务信任评估中都表示一条完整的推荐信任路径。WS-FPN 算法的推理过程如图 6 所示。

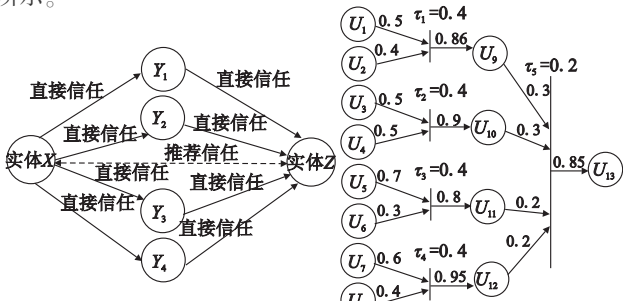


图5 实体X与Z的信任关系

图6 WS-FPN算法的推理过程

根据 WS-FPN 推理算法的定义, 推理所需要的条件, 即输入矩阵 int 、输出矩阵 out 、规则阈值 τ 和初始命题的信任度 T_0 , 分别为

$$int = \begin{bmatrix} 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad out = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.86 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.85 \end{bmatrix}$$

$$\tau = [0.4, 0.4, 0.4, 0.4, 0.2]^T$$

所有命题的初始信任度为

$$T_0 = [0.6, 0.8, 0.6, 0.7, 0.8, 0.7, 0.8, 0.8, 0.0, 0.0, 0]^T$$

根据 WS-FPN 推理算法可得到以下结果:

$$T_1 = [0.6, 0.8, 0.6, 0.7, 0.8, 0.7, 0.8, 0.8, 0.54, 0.52, 0.616, 0.72, 0]^T$$

$$T_2 = [0.6, 0.8, 0.6, 0.7, 0.8, 0.7, 0.8, 0.8, 0.54, 0.52, 0.616, 0.72, 0.59]^T$$

$$T_3 = [0.6, 0.8, 0.6, 0.7, 0.8, 0.7, 0.8, 0.8, 0.54, 0.52, 0.616, 0.72, 0.59]^T$$

由以上推理过程可以看出 $T_2 = T_3$, 所以推理结束, 得到推理结果为 $T = [0.6, 0.8, 0.6, 0.7, 0.8, 0.7, 0.8, 0.8, 0.54, 0.52, 0.616, 0.72, 0.59]^T$, 从而通过推理得到实体 Z 的推荐综合信任度 T_k 为 0.59。再根据 2.2 节的知识, $T_{ws} = \alpha \cdot G_e + \beta \cdot T_k$, 假设 $\alpha = 0.5, G_e = 0.5, V_e = 0.4$, 通过计算得 $T_{ws} = 0.545, T_{ws} > V_e$, 所以实体 X 调用实体 Z 的服务。

从上面的推理过程可以看出, 采用 WS-FPN 算法的推理过程完全是并行的, 推理计算的迭代步数只与推理进行的最大深度有关, 而与规则的多少无关。从实例中可以看出, 推理的最大深度为 2 层, 所以推理迭代只需要进行两步就可完成。接下来将通过模拟实验验证 WS-TEM 信任模型的有效性。

2.4 模拟实验结果及其分析

本文在 MATLAB 7.0.1 环境下验证了 WS-TEM 信任模型

对实体节点信任度评估的有效性。作为参照, 笔者比较了 Beth 信任模型在同一实验环境下与 WS-TEM 信任模型的实现情况。实验结果如图 7 所示。设节点 V 的真实信任度为 0.8, 由图 7 所示的结果可以看出, 本文提出的 WS-TEM 信任模型计算的信任值更逼近节点的真实信任值; 由于 Beth 信任模型并未考虑评估的主观可信度, 在推荐信任值计算上仅采用推荐信任的平均值, 计算出节点 V 的信任值在 0.55 左右。本文提出的信任模型通过参考自身的初始感知度和其他交互节点的推荐, 利用 WS-FPN 推理算法剔除推荐信任度小于推荐路径变迁阈值节点的推荐, 计算出的节点信任值能迅速逼近真实值。由图 8 所示的结果可以看出, 与 Beth 信任模型相比, 该模型在陌生实体逐渐增多的环境中能很好地保持交互的成功率, 而 Beth 信任模型由于综合信任度计算的不准确和缺乏初始实体对陌生实体的主观性判断等因素, 不能很好地保持交互的成功率, 模拟实验验证了该模型在计算目标实体信任度上具有极高的准确性和有效性, 从而保证了交互的正常进行。

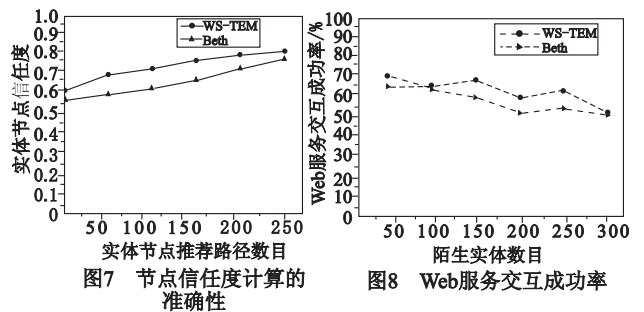


图7 节点信任度计算的准确性

图8 Web服务交互成功率

3 结束语

本文设计了一种基于模糊 Petri 网的 Web 服务信任评估模型 WS-TEM, 该模型运用模糊 Petri 网的推理算法进行推理运算。在推理过程中充分考虑推荐实体在推荐路径中的权重、推荐路径触发的阈值以及推荐信任规则的可信度等要素, 并且推理过程完全采用矩阵运算的形式进行。通过模拟实验和分析表明, 该模型在 Web 服务信任评估中可以更加准确、快速、有效地获得目标实体的信任度并作出合理的决策判断。

今后, 将 Web 服务的信任评估扩展到基于实体行为风险的方面以及对信任模型增加诚实反馈的激励机制。

参考文献:

- [1] 何新贵. 模糊 Petri 网[J]. 计算机学报, 1994, 17(12): 946-950.
- [2] BETH T, BORCHERDING M, KLEIN B. Valuation of trust in open network[C]//Proc of the European Symposium on Researchin Security (ESORICS). Brighton: Springer-Verlag, 1994: 3-18.
- [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, 37(12): 1263-1266.
- [4] 唐文, 陈钟. 基于模糊集合理论的主观信任管理模型研究[J]. 软件学报, 2003, 14(8): 1401-1408.
- [5] 梁军涛, 蒋晓原. 一种基于推荐的 Web 服务信任模型[J]. 计算机工程, 2007, 33(15): 52-55.
- [6] 龙毅宏, 潘丹, 张海松, 等. 基于模糊 Petri 网的信任评估[J]. 信息安全与通信保密, 2008, 11(3): 58-64.
- [7] 徐锋, 吕建. Web 安全中的信任管理研究与进展[J]. 软件学报, 2002, 13(11): 2057-2064.
- [8] 刘建刚, 高洁, 工明哲. 模糊 Petri 网的形式化推理算法及其应用[J]. 计算机仿真, 2004, 21(11): 152-154.
- [9] 李小勇, 桂小林. 大规模分布式环境下动态信任模型研究[J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1510-1521.