

文章编号:1673-9469(2010)02-0077-06

## 基于双枝模糊逻辑攻击模型的分层推理算法

任大勇

(渭南师范学院,陕西渭南 714000)

**摘要:**针对以模糊 Petri 网为理论基础的网络攻击模型 BBFPAN 自学习能力差的缺点,本文首先提出一种新的适用于对攻击模型 BBFPAN 进行层次式划分的分层算法,为将神经网络理论引入攻击模型的研究奠定了基础。为了使攻击模型 BBFPAN 能够清晰地反映网络攻击过程中各节点的状态变化情况,发现网络系统的漏洞,本文首次将双枝模糊逻辑理论应用于攻击模型 BBFPAN 的推理计算,提出了 BBFPAN 模型推理的基本规则,给出了一种 BBFPAN 分层推理算法,并通过实验验证了算法的正确性。

**关键词:**双枝模糊逻辑;网络安全;攻击建模

**中图分类号:** TP393.08

**文献标识码:** A

### A delaminating reasoning algorithm based on Both - Branch Fuzzy Logic to attack model BBFPAN

REN Da-yong

(Weinan Teachers University, Shanxi Weinan 714000, China)

**Abstract:** Attack model BBFPAN based on fuzzy Petri net has some drawback such as the lack of learning mechanism. A delaminating algorithm which can partition the BBFPAN into several levels is presented. This algorithm can be applied to the study about the BBFPAN using the neural network. In order to make fine description to the network attacks and finding the weakness of the network system, the basic inference rules about BBFPAN is put forward which originally applies Both - Branch Fuzzy Logic into the attack modeling. After this problem, based on the basic inference rules, a delaminating reasoning algorithm is proposed which can enrich the reasoning method of the attack model BBFPAN and the effectiveness of the algorithm is verified by experiment.

**Key words:** Both - Branch Fuzzy Logic; network security; attack modeling

模糊 Petri 网作为基于模糊产生式规则知识库系统的良好建模工具,既结合了 Petri 网描述异步并发和图形表示的能力,使得知识表示简单清晰.又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。但是其缺乏较强的自学习能力,该缺点严重制约了模糊 Petri 网在各个领域的应用。以模糊 Petri 网为理论基础的\*\*新型网络攻击模型 BBFPAN<sup>[1]</sup>,不可避免的也具有自学习能力差的缺点。而对于用于网络系统安全检测和预警的攻击模型来说,具有自学习能力无疑将大大减少其对专家经验的依赖,也将有利于其对

网络系统安全漏洞进行实时分析和安全预警。

神经网络(Neural Network)具有很强的自适应和学习能力<sup>[2]</sup>,文献[3-6]将其与模糊 Petri 网相结合,对模糊 Petri 网的构建产生积极作用,取得了一定的成果。文献[7]曾通过对没有回路的 FPN 模型结构进行层次式划分以及建立变迁点燃和模糊推理的近似连续函数,提出了适合模糊 Petri 网模型自学习的 FPN 分层算法、模糊推理算法和自学习算法,从而把神经网络中的 BP 网络算法自然地引入到 FPN 模型中。但是经实验验证,文献[7]所提出的 FPN 分层算法并不能对 BBFPAN 进行很

收稿日期:2009-11-11

基金项目:渭南师范学院研究生科研项目(编号:09YKZ020)

作者简介:任大勇(1981-),男,陕西渭南人,硕士,从事电子商务与网络安全研究。

好的分层处理。为了能够将神经网络应用于攻击模型 BBFPAN 的应用研究中,本文将首先提出一种适合于对攻击模型 BBFPAN 进行层次式划分的分层算法。

## 1 分层算法

针对文献[7]中分层算法无法解决攻击模型 BBFPAN 层次式划分的问题,本文将首先提出一种适用于对攻击模型 BBFPAN 进行层次式划分的分层算法。在该分层算法中,将把同一个库所的输出变迁尽可能的置于同一层次结构之中,同时在必要时增加相应的虚库所和虚变迁。

在模糊 Petri 网增加的虚库所和虚变迁只是起到一个中间过渡作用,并不会对模糊规则库系统产生影响,因此也不会改变攻击模型中攻击因素对于攻击效果的作用。按照攻击模型 BBFPAN 的定义,在分层 BBFPAN 中,将虚库所对应的  $\theta^0$  设为 0,虚变迁的置信度设为 1。攻击模型 BBFPAN 分层算法如算法 1 所示。

算法 1:

Step1: 建立起始库所集  $Pset$ : 若  $\theta_i^0 \neq 0$ , 则  $p_i \in Pset$ 。设循环变量  $k$ , 初始值为 1, 用以标记模型的分层数。

Step2: 建立变迁集合:  $T_k = \{t \in T \mid \forall p \in \cdot t, p \in Pset\}$ ; //  $T_k$  表示处于同一层的变迁集合。若  $T$  中的变迁  $t$  的所有输入库所都属于起始库所集  $Pset$ , 则将该变迁  $t$  置于变迁集合  $T_k$  中。

Step3: 若  $t \in T_k, \exists p \in \cdot t, \exists t_i \in T - T_k, \exists p \in \cdot t_i$  则, 为模型添加虚库所  $p_s$  和虚变迁  $t_r$ , 其中  $s = n + 1, r = m + 1$ 。

$t \in \cdot p_s$  // 将变迁  $t$  置于新增虚库所  $p_s$  的输入变迁集中。

$p_s \in \cdot t_r$  // 将新增虚库所  $p_s$  作为虚变迁  $t_r$  的输入库所。

$t_r \in \cdot p$  // 新增虚变迁  $t_r$  的输出库所为库所  $p$ 。同时, 令:

$P = P + \{p_s\}, n = n + 1$ ; // 将新增虚库所  $p_s$  加入模型库所集  $P$  中,  $n$  表示库所集  $P$  的元素个数。

$T = T + \{t_r\}, m = m + 1$ ; // 将新增虚变迁  $t_r$  加入模型变迁集  $T$  中,  $m$  表示库所集  $T$  的元素个数。

$\theta_s^0 = 0$ ; // 新增虚库所  $p_s$  所对应  $\theta_s^0$  的设为 0。

$\mu_r = 1$ ; // 新增虚变迁  $t_r$  的置信度设为 1。

Step4:  $Pset = Pset \cup \{p \in \cdot t \mid \forall t \in T_k\}$ ; // 将  $T_k$  中所有变迁的输出库所都添加到起始库所集  $Pset$  中。

Step5:  $T = T - T_k$ ; // 从模型变迁集  $T$  中删除  $T_k$  中的变迁。

Step6: 若  $T = \emptyset$ , 则算法结束, 模型层数为  $k$ 。否则,  $k = k + 1$ , 转 Step2。

## 2 模糊推理算法

基于双枝模糊逻辑的 BBFPAN 模糊推理算法是建立在双枝模糊逻辑<sup>[8-9]</sup>的基础之上的。在该模糊推理算法中, 首先以文献[10]中介绍的双枝模糊逻辑推理的几种基本形式为依据, 提出 BBFPAN 模型推理的基本规则。然后, 根据 BBFPAN 模型的基本推理规则, 结合 BBFPAN 分层算法和 BBFPAN 的定义, 给出其相应的分层推理算法。

### 2.1 BBFPAN 基本推理规则

文献[10]中介绍了双枝模糊逻辑推理的几种基本形式, 本文在此基础上, 结合 BBFPAN 的定义提出以下 BBFPAN 模型推理的基本规则。

与规则, IF  $d_1(\theta_1)$  and  $d_2(\theta_2)$  and ... and  $d_n(\theta_n)$  THEN  $d_g$  ( $CF = \mu$ ), 按照规则中命题(库所)对应网络攻击因素对网络攻击作用的不同, 可以与规则的推理分为以下三种形式:

(1) 若  $\theta_i \in [0, 1], i = 1, 2, \dots, n$ , 即  $p_i$  所对应的因素均对网络攻击起促进作用, 则

$$\theta_g = \min(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \times \mu = \min(\theta_1 \times \mu, \theta_2 \times \mu, \dots, \theta_n \times \mu) \quad (1)$$

(2) 若  $\theta_i \in [-1, 0], i = 1, 2, \dots, n$ , 即  $p_i$  所对应的因素均对网络攻击起抑制作用, 则

$$\theta_g = \max(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \times \mu = \max(\theta_1 \times \mu, \theta_2 \times \mu, \dots, \theta_n \times \mu) \quad (2)$$

(3) 若  $\theta_i \in [-1, 1], i = 1, 2, \dots, n$ , 即  $p_i$  所对应的因素中, 既有对网络攻击起促进作用的因素, 也有起抑制作用的因素。我们假设:  $p_1, p_2, \dots, p_k (1 \leq k < n)$  所对应的因素, 对网络攻击起促进作用, 则  $\theta_k \in [0, 1], k = 1, 2, \dots, k; p_{k+1}, p_{k+2}, \dots, p_n$  所对应的因素, 对网络攻击起抑制作用, 则  $\theta_l \in [-1, 0], l = k + 1, k + 2, \dots, n$ 。那么相应的 BBFPAN 模型, 可以分解为攻击枝 BBFPAN 和防御枝 BBFPAN, 如图 1 所示。

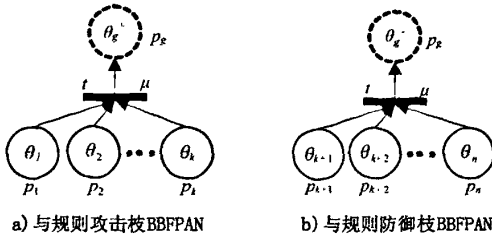


图1 BBFPAN与规则的分解图

Fig.1 The decomposition map of BBFPAN and rule

在图 1 中,我们将  $p_g$  库所一分为二,分处攻击枝和防御枝的双枝之上,故而将其表示为虚圈,以示区别。 $\theta_g^+$  表示了  $p_h (h = 1, 2, \dots, k)$  所对应的对网络攻击起促进作用的因素,对最终状态  $p_g$  的支持度; $\theta_g^-$  表示了  $p_l (l = k + 1, k + 2, \dots, n)$  所对应的对网络攻击起抑制作用的因素,对最终状态  $p_g$  的支持度。

由式(1)和式(2),可以得到

$$\theta_g^+ = \min(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \times \mu = \min(\theta_1 \times \mu, \theta_2 \times \mu, \dots, \theta_k \times \mu) \quad (3)$$

$$\theta_g^- = \max(\theta_{k+1}, \theta_{k+2}, \dots, \theta_n) \times \mu = \max(\theta_{k+1} \times \mu, \theta_{k+2} \times \mu, \dots, \theta_n \times \mu) \quad (4)$$

或规则, IF  $d_1(\theta_1)$  or  $d_2(\theta_2)$  or ... or  $d_n(\theta_n)$  THEN  $d_g$  (CF =  $\mu_j$ )  $j = 1, 2, \dots, n$ , 按照规则中命题(库所)对应网络攻击因素对网络攻击作用的不同,也可以将或规则的推理分为以下三种形式:

(1)若  $\theta_i \in [0, 1], i = 1, 2, \dots, n$ , 即  $p_i$  所对应的因素均对网络攻击起促进作用,则

$$\theta_g = \max(\theta_1 \times \mu_1, \theta_2 \times \mu_2, \dots, \theta_n \times \mu_n) \quad (5)$$

(2)若  $\theta_i \in [-1, 0], i = 1, 2, \dots, n$ , 即  $p_i$  所对应的因素均对网络攻击起抑制作用,则

$$\theta_g = \min(\theta_1 \times \mu_1, \theta_2 \times \mu_2, \dots, \theta_n \times \mu_n) \quad (6)$$

(3)若  $\theta_i \in [-1, 1], i = 1, 2, \dots, n$ , 即  $p_i$  所对应的因素中,既有对网络攻击起促进作用的因素,也有起抑制作用的因素。依照与规则中的假设,可以将相应的 BBFPAN 模型,分解为攻击枝 BBFPAN 和防御枝 BBFPAN, 如 2 所示。

在图 2 中,将  $p_g$  库所采用与图 1 中相类似的方法,表示为虚圈,以示区别。其中,  $\theta_g^+$  和  $\theta_g^-$  所表示的意义与规则中的一致。

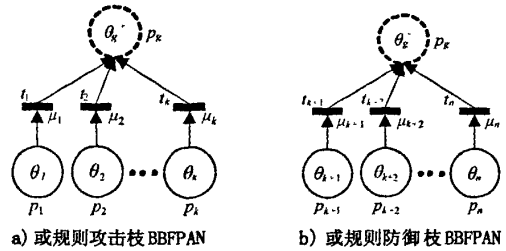


图2 BBFPAN或规则的分解图

Fig.2 The decomposition map of BBFPAN and rule

由式(5)和(6),可以得到

$$\theta_g^+ = \max(\theta_1 \times \mu_1, \theta_2 \times \mu_2, \dots, \theta_k \times \mu_k) \quad (7)$$

$$\theta_g^- = \min(\theta_{k+1} \times \mu_{k+1}, \theta_{k+2} \times \mu_{k+2}, \dots, \theta_n \times \mu_n) \quad (8)$$

对于与、或两种规则第三种情况下,库所  $p_g$  的可信度  $\theta_g$ , 可以分别依据式(3)、式(4)、式(7)、式(8)求得,计算公式为

$$\theta_g = \theta_g^+ \oplus \theta_g^- = \begin{cases} \theta_g^+ & \text{若 } |\theta_g^+| > |\theta_g^-| \\ 0 & \text{若 } |\theta_g^+| = |\theta_g^-| \\ \theta_g^- & \text{若 } |\theta_g^+| < |\theta_g^-| \end{cases} \quad (9)$$

### 2.2 分层 BBFPAN 推理算法

根据以上 BBFPAN 模型的基本推理规则,结合 BBFPAN 分层算法和 BBFPAN 的定义,提出一种分层 BBFPAN 模型推理的算法。

在该推理算法中,首先根据的  $\theta_i^0$  取值情况,构造中间状态库所集  $P_g$ , 并按照模型的层次结构,逐层对同层变迁集合  $T_k$  中变迁  $t_j$  进行触发。对  $t_j$  按照与规则进行推理计算,并将推理计算结果存放在矩阵  $\theta_g$  中。然后,再对中间状态库所集  $P_g$  中库所的输入变迁按照或规则进行推理计算,从而得到中间状态库所集  $P_g$  中每个库所所对应命题的可信度。分层 BBFPAN 推理算法如算法 2 所示。

算法 2:

Step1: 构造中间状态库所集  $P_g$ : 若  $\theta_i^0 = 0$ , 则  $p_i \in P_g$ 。构造矩阵  $\theta_g = \{\theta_{gij}\}$ ,  $\theta_{gij}$  初值设为 0, 矩阵  $\theta_g$  为  $n \times m$  阶矩阵。设循环变量  $l = 1$ ;

Step2:  $\forall t_j \in T_l$ , 对  $t_j$  进行如下操作:

int  $\theta_g^+ = 1, \theta_g^- = -1$ ;

boolean flag-pos = false, flag-neg = false; // 分别用于标记  $t_j$  中攻击因素的性质

for( $i = 1; i \leq n; i++$ ) {

```

if ( I[i][j] = = 1) {
//对 tj 按照与规则进行推理计算,其中 I 为
变迁 tj 的输入矩阵,当 pi 是 tj 的输入时, I[i][j]
= 1。
if (θi ≥ 0) {
flag-pos = true; //若 tj 中因素对网络攻击起促
进作用,则 flag-pos 为真
if (θg+ > min(θg+, θi × μj)) {θg+ = min
(θg+, θi × μj);}
}
else {
flag-neg = true; //若 tj 中因素对网络攻击起抑
制作用,则 flag-neg 为真
if (θg- < max(θg-, θi × μj)) {θg- = max
(θg-, θi × μj);}
}
} //end for
if(flag-pos = true and flag-neg = false)
θg = θg+; // tj 中仅存在对网络攻击起促进作
用的因素。
else if(flag-pos = false and flag-neg = true)
θg = θg- + ⊕; // tj 中仅存在对网络攻击起抑
制作用的因素。
else θg = θg+ ⊕ θg-; //否则,根据式(9)求得
θg。
for(i = 1; i ≤ n; i++) {
if ( O[i][j] = = 1) // 其中 O 为变迁 tj 的 输
出矩阵,当 pi 是 tj 的输出时, O[i][j] = 1。
θg[i][j] = θg; //将 tj 中库所对 tj 库所的支持
度放入矩阵 θg。
}
} //end for
Step3:对 ∀ pi ∈ Pg,对 pi 进行如下操作:
boolean flag = false; //用于标记 pi 中变迁是否
属于 Ti
int θg+ = 0, θg- = 0;
for(j = 1; j ≤ m; j++) {
if (O[i][j] = = 1 and tj ∈ Ti) {flag = true; }
} // pi 中存在不属于 Ti 的变迁
}
for(j = 1; j ≤ m; j++) {
if (O[i][j] = = 1 and flag = false) { //对 pi 中

```

已激发的变迁按照或规则进行推理计算。

```

if(θg[i][j] ≥ 0) {
if (θg+ < max(θg+, θg[i][j])) {θg+ = max
(θg+, θg[i][j]);}
}
else {
if (θg- > min(θg-, θg[i][j])) {θg- = min
(θg-, θg[i][j]);}
}
} //end for
θg = θg+ ⊕ θg-; //根据式(9)求得 θg。
θi = θg; //得到库所 pi 所对应命题的可信度
Pg = Pg - {pi}; //从中间状态库所集 Pg 删
除库所 pi。

```

Step4:若循环变量 l = 分层层数 k,则推理结
束;否则, l = l + 1,转 Step2。

### 3 实验验证

文献[1]曾以特权提升攻击作为实例,对算法
进行验证。本文在此基础上,构造了一种更为
复杂的特权提升 BBFPAN 模型,分别对 BBFPAN 分
层算法和推理算法进行验证。特权提升分层 BBF-
PAN 模型图如图 3 所示。

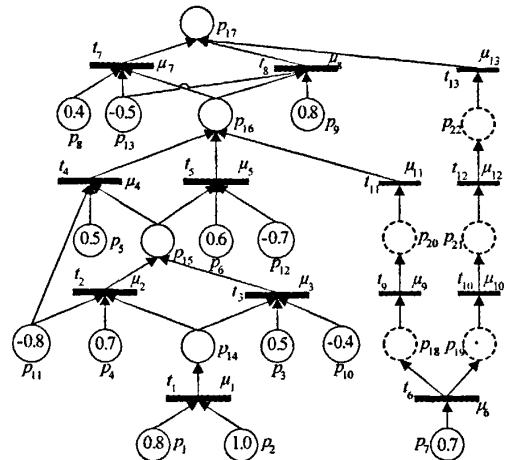


图3 特权提升分层BBFPAN  
Fig.3 BBFPAN with privilege escalated

图3中, p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, p<sub>3</sub>, p<sub>4</sub>, p<sub>5</sub>, p<sub>6</sub>, p<sub>7</sub>, p<sub>8</sub>, p<sub>9</sub> 分别
标识系统中的弱点实例, p<sub>10</sub>, p<sub>11</sub>, p<sub>12</sub>, p<sub>13</sub> 分别标识

对网络攻击起抑制作用的攻击防御实例,另外  $p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}$  标识了网络攻击的中间状态  $P_{ghost}, P_{user}, P_{supuser}, P_{root}$ 。依据特权提升网络攻击的特点和专家的经验,我们可以做出如下的假设: $p_1$  表示系统开放了有漏洞的网络服务,设其初始置信度为 0.8; $p_2$  表示系统中存在大量打开的端口,设其初始置信度为 1.0; $p_3$  表示防火墙规则配置失误,设其初始置信度为 0.5; $p_4$  表示操作系统以 IP 地址作为认证依据,设其初始置信度为 0.7; $p_5$  表示系统主机之间具有信任关系,设其初始置信度为 0.5; $p_6$  表示共享目录读写权限过大,设其初始置信度为 0.6; $p_7$  表示应用程序对系统调用错误不做处理,设其初始置信度为 0.7; $p_8$  表示系统保留默认的口令和账号,设其初始置信度为 0.4; $p_9$  表示攻击者利用非技术性手段获得系统关键信息,设其初始置信度为 0.8; $p_{10}$  表示防火墙技术,设其初始置信度为 -0.4; $p_{11}$  表示身份认证系统,设其初始置信度为 -0.8; $p_{12}$  表示调整系统共享信息设置,设其初始置信度为 -0.7; $p_{13}$  表示定期更换管理员口令,设其初始置信度为 -0.5。 $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6, \mu_7, \mu_8$  表示对应变迁规则的置信度,其值分别为:0.8,0.6,0.5,0.6,1.0,0.8,0.8,1.0,0.1。同时,  $p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}, p_{22}, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}$  分别表示虚库所和虚变迁。

根据图 3 和 BBFPAN 的定义,可以得到

$$\theta^0 = (0.8, 1.0, 0.5, 0.7, 0.5, 0.6, 0.7, 0.4, 0.8, -0.4, -0.8, -0.7, -0.5, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0)^T。$$

按照算法 1 第一步的要求可得

$$\text{起始库所集 } Pset = \{ p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13} \}。$$

$$\text{模型变迁集 } T = \{ t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8 \}。$$

经过算法 1 第一轮执行之后  $T_1 = \{ t_1, t_6 \}$ ;

$$Pset = \{ p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{18}, p_{19} \}; T = \{ t_2, t_3, t_4, t_5, t_7, t_8, t_9, t_{10} \}。$$

$$\text{经过算法 1 第二轮执行之后 } T_2 = \{ t_2, t_3, t_9, t_{10} \}; Pset = \{ p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21} \}; T = \{ t_4, t_5, t_7, t_8, t_{11}, t_{12} \}。$$

$$\text{经过算法 1 第三轮执行之后 } T_3 = \{ t_4, t_5, t_{11}, t_{12} \}; Pset = \{ p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10},$$

$$p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}, p_{22} \}; T = \{ t_7, t_8, t_{13} \}。$$

经过算法 1 第四轮执行之后  $T_4 = \{ t_7, t_8, t_{13} \}$ ;  $Pset = \{ p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}, p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}, p_{22} \}$ ;  $T = \emptyset$ , 分层算法 1 结束。

在以上对特权提升 BBFPAN 分层处理的基础之上,按照算法 2 即可对特权提升分层 BBFPAN 中,同层变迁集合  $T_1, T_2, T_3, T_4$  进行触发推理计算。

按照算法 2 第一步的要求可得  $P_g = \{ p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}, p_{18}, p_{19}, p_{20}, p_{21}, p_{22} \}。$

在算法 2 第一轮执行中,变迁集合  $T_1$  中的变迁触发,同时可得  $\theta_{14} = 0.64, \theta_{18} = 0.56, \theta_{19} = 0.56。$

$$P_g = \{ p_{15}, p_{16}, p_{17}, p_{20}, p_{21}, p_{22} \}。$$

经过算法 2 第二轮的执行,变迁集合  $T_2$  中的变迁将触发,同时可得  $\theta_{15} = -0.48, \theta_{20} = 0.56, \theta_{21} = 0.56, P_g = \{ p_{16}, p_{17}, p_{22} \}。$

经过算法 2 第三轮的执行,变迁集合  $T_3$  中的变迁将触发,同时可得  $\theta_{16} = 0.6, \theta_{22} = 0.56, P_g = \{ p_{17} \}。$

经过算法 2 第四轮的执行,变迁集合  $T_4$  中的变迁将触发,同时可得  $\theta_{17} = 0.56, P_g = \emptyset$ , 算法 2 结束。

由变迁集合  $T_1, T_2, T_3, T_4$  可以清晰的看出特权提升 BBFPAN 变迁触发的层次结构,这说明算法 1 能够有效的对攻击模型 BBFPAN 进行分层处理。

由算法 2 的推理过程,可以看出虚库所和虚变迁在分层 BBFPAN 中只是起到了相应的过渡作用,并对模型最终推理结果产生影响。节点  $p_7$  对节点  $p_{16}$  的支持度,通过虚库所和虚变迁  $p_{18}, t_9, p_{20}, t_{11}$  进行了传递;对最终节点  $p_{17}$  的支持度,通过虚库所和虚变迁  $p_{19}, t_{10}, p_{21}, t_{12}, p_{22}, t_{13}$  完成了传递。

同时,该 BBFPAN 分层推理算法能清晰的反映攻击模型中各个节点在不同时刻的状态,从而使模型更加真实直观地反映了网络攻击的演变情况,使我们更好的发现和认识网络系统的漏洞,有针对性地采取相应的安全防护措施。

## 4 结语

本研究丰富了攻击模型的分析研究方法,同时也扩展了双枝模糊逻辑理论的研究领域。神经网络和新型网络攻击模型 BBFPAN 的相结合研

究,还包括诸如变迁触发连续函数、权值调整等诸多的问题。通过实验验证算法是正确的。

#### 参考文献:

- [1] 黄光球,任大勇.基于双枝模糊决策和模糊 Petri 网的攻击模型[J]. 计算机应用, 2007, 27(11): 2689 - 2693.
- [2] 魏海坤.神经网络结构设计的理论与方法[M]. 北京:国防工业出版社, 2005.
- [3] FURUHASHI T, YAMAMOTO H. Fuzzy control stability analysis using a generalized fuzzy petri net model [J]. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 1999, 3(2):99 - 105.
- [4] 宋群,马宏波,王中海.基于 NNFPN 模型的电梯故障诊断方法的研究[J].控制与决策, 2005, 20(3): 341 - 344.

- [5] 胡志刚,马好,廖麟.基于模糊神经 Petri 网的故障诊断模型[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(11):1978 - 1982.
- [6] 危胜军,胡昌振,孙明谦.基于学习 Petri 网的网络入侵检测方法[J]. 北京理工大学学报, 2007, 27(4):312 - 317.
- [7] 鲍培明.基于 BP 网络的模糊 Petri 网的学习能力[J]. 计算机学报, 2004, 27(5):695 - 702.
- [8] 刘刚,徐衍亮,赵建辉,等.双枝模糊逻辑[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(30):96 - 98.
- [9] 刘刚,刘强.双枝模糊推理框架[J]. 计算机工程与应用, 2004 (32): 102 - 105.
- [10] 刘刚,赵建辉,刘强.双枝模糊逻辑(II)[J]. 计算机工程与应用, 2005(19):47 - 49.

(责任编辑 刘存英)

(上接第 69 页)

表 2 巨厚层的落石统计

Tab.2 Statistics of very thick bedded rockfall

编号	长/m	宽/m	高/m	体积 /m <sup>3</sup>	容重 /(kN·m <sup>-3</sup> )
1	2.6	1.2	1.6	5	24.0
2	4	3	1.8	22	24.0
3	5.5	4.2	3.8	88	24.0

## 4 结论

地下水的渗透、新构造运动、贯通裂隙、卸荷裂隙和人为因素会造成失稳,导致楔形山体发生蠕动或造成崩塌、落石,对拟建的乌江大桥桥位产生破坏。其具体破坏程度,有待进一步的勘察,分析。

#### 参考文献:

- [1] 宁少晨,戚蓝.灰色斜率关联模型在堤防岸坡稳定影响因素分析中的应用[J]. 江西农业学报, 2007, 19(3): 89 - 90.

- [2] 王元战,祝振宇.高桩码头岸坡稳定有限元分析[J]. 海洋工程, 2006, 24(4): 27 - 31.
- [3] 陈敏林.边坡稳定分析中有关问题的研究[J]. 中国农村水利水电, 1997(10): 21 - 23.
- [4] 祝传兵.边坡的稳定性分析与评价[D].昆明:昆明理工大学, 2005.
- [5] 汤良杰,郭彤楼.黔中地区多期构造演化、差异变形与油气保存条件[J]. 地质学报, 2008, 82(3): 298 - 307.
- [6] 铁路工程岩土分类标准. TB10077 - 2001[S].
- [7] 祁生文,伍法权.小湾水电站坝基开挖岩体卸荷裂隙发育特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(增 1): 2907 - 2912.
- [8] 习小华.勉宁高速公路岩质边坡稳定性分析与评价[D]. 西安:西安科技大学, 2004.
- [9] 朱珍德.地下水对裂隙岩体强度的影响[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2000, 19(1): 18 - 20.
- [10] 李明琴,王智勇.新构造运动对贵州西部岩溶石漠化演化的影响[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2007, 24(3): 322 - 326.

(责任编辑 马立)