

基于模糊决策理论的主观信任模型评估

左双勇^{1,2}, 陈光喜¹, 丁 勇¹, 王祥玲¹

(1 桂林电子科技大学 数学与计算科学学院, 广西 桂林 541004;

2 海口经济学院 基础课部, 海南 海口 570203)

摘 要: 针对信任评估中主体各因素的权重的不确定性, 依据模糊决策理论, 提出一种权值随评估值动态变化的的主观信任模型, 给出了信任的等级划分机制和综合评估机制. 最后通过实际数值例子证实了基于变权法的模糊决策得出的主观信任更有效性和合理性.

关键词: 主观信任; 模糊决策理论; 变权法; 因素; 动态变化; 隶属度; 信任等级; 综合评估

中图分类号: TP393.08

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)09-0089-04

Subjectivetrust Evaluation Model Based on Fuzzy Decision Theory

ZUO Shuang-yong^{1,2}, CHEN Guang-xi¹, DING Yong¹, WANG Xiang-ling¹

(1 Department of Computer Science & Mathematics, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2 Department of Basic Course, Haikou College of Economics, Haikou 570203, China)

Abstract: According to the uncertainty of each factor weight in the trust evaluation and fuzzy decision theory, a subjective trust evaluation model was proposed, which weight changes with value assessment dynamically. And the trust hierarchy mechanism and comprehensive evaluation mechanism were given. Finally, example analyses verify that the subjective trust evaluation model based on variable weights is more validity and rationality.

Key words: subjective trust; fuzzy decision-making theory; variable weight method; factor; dynamic variation; degree of membership; trust level; comprehensive evaluation

1 引言

随着可信计算的发展, 信任被引入到计算机领域, 信任作为现有网络安全的前提和基础, 正日益成为网络安全研究的焦点. 随着 P2P 网络、网格计算、分布式网络等技术的发展, 进一步促进了对如何在网络上建立一套可信模型及相关信任度算法的研究^[1].

文献[2]在分布式信任模型中把信任内容和信任程度进行了划分, 认为信任是一种经验的体现, 不仅要有具体的内容, 还应有程度的划分, 给出了一些基于此观点的信任度评估模型.

文献[3]通过使用信任的综合评判来定义信任

向量, 并将信任向量作为信任的度量机制, 解决了 Beth 模型^[4]中未能很好解决的初始向量如何获得的问题, 而且考虑了信任度量时的合成权重. 但是它给出的权重均为一定值, 并不能很好的反映各因素在实际中所占的比重, 得到的结果与真实的可信度就有一定的偏差.

在对实体进行信任度评估时, 实体的各因素在评估中都起着一定的作用. 若由于某些因素由于权重较小而被剔除时, 得到的信任度结果是不理想的. 本文依据评估值动态变化, 利用变权法实现了主观信任评估权值的动态分配, 提出了基于模糊决策理论的主观信任评估模型, 突出了权值较小因素在评估中的作用. 同时对信任的程度进行了等级划分, 最

收稿日期: 2011-01-11; 修回日期: 2011-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(60963024); 广西教育厅基金项目(200807LX112); 广西学位与研究生教育改革和发展专项课题(200910595R06)

后基于得到的信任度值的隶属度给出了综合评估机制。

2 模糊决策理论的信任模型

2.1 实体信任的定量描述

在文献[3]中,信任关系可分为两类:一类是对客体的信任,称为相信关系;另一类是主体之间的信任,称为主观信任。文中主要对实体之间的主观信任进行建模。主观信任的本质是基于信念的^[4],具有主观性、不确定性和模糊性,无法用精确的语言加以描述和验证。因此,需要寻求一种既能反映实体信任的模糊性,又具有直观、简洁语义的定量描述机制。

定义 1 设给定论域 A , 所谓 A 上的模糊子集合 T 是指对任意的 $A_i \in A$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 都能确定一个数 $u_T(A_i) \in [0, 100]$, 用这个数表示 A_i 属于 A 的程度。映射

$$u_T: A \rightarrow [0, 100], A_i \rightarrow u_T(A_i) \in [0, 100]$$

称为 T 的隶属函数^[5], $u_T(A_i)$ 称为 A 中的元素对模糊子集合 T 的隶属度。

用模糊子集合 $T_j \in T$ ($j = 1, 2, \dots, 6$) 定义不同信任度集合, 依据文献[6]信任等级的描述, 采用离散的标度 $\{1, 2, \dots, M\}$ 来描述实体信任的等级, 用自然语言赋予了其直观、实际的意义。定义如下:

$$\begin{cases} T_1 \text{ 表示“不信任”} & u_T(A) = 0 \\ T_2 \text{ 表示“有点信任”} & u_T(A) \in (0, 25) \\ T_3 \text{ 表示“一般信任”} & u_T(A) \in [25, 50) \\ T_4 \text{ 表示“很信任”} & u_T(A) \in [50, 75) \\ T_5 \text{ 表示“非常信任”} & u_T(A) \in [75, 100) \\ T_6 \text{ 表示“完全信任”} & u_T(A) = 100 \end{cases}$$

在实际的评估中, 实体的信任度对某个 T_q ($q = 1, 2, \dots, 6$) 的隶属关系可以通过得到的信任度值隶属于 $u_T(A)$ 的某个区间来判断。

2.2 变权法确定权重

2.2.1 权重的定义描述

定义 2 设实体有 n 个因素 $N = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 设这些因素分别获得的单因素评估指标为 $u_1, u_2, \dots, u_n$, 且 $u_i \in [0, u_m], i = 1, 2, \dots, n, u_m = 100$ 。记 A_i 相对总体而言的权重为

$$\omega_i = \omega_i(u_1, u_2, \dots, u_n), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

其中, $\omega_i \in (0, 1)$ 且 $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ 。约定 u_i 为对总体而言 A_i 的可信程度, u_i 值越高 A_i 的可信程度就越高, 当 $u_i = u_m$ 时, 因素 A_i 完全可信; 当 $u_i = 0$ 时, 因素 A_i 完全不可信。

引入记号 ω_{mi} , 它表示该主体完全可信时, 因素 A_i 所占的权重, 称为基础权重。记

$$\omega_{mi} = \omega_i(u_m, u_m, \dots, u_m), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\omega_{mi} \in (0, 1), \quad \sum_{i=1}^n \omega_{mi} = 1$$

又引入 ω_{0i} , 它表示因素 A_i 完全不可信, 而其他因素都完全可信时 A_i 所占的权重。记

$$\begin{aligned} \omega_{0i} &= \omega_i(u_m, \dots, u_m, 0, u_m, \dots, u_m) \\ &= \frac{\omega_{mi}}{\min_{1 \leq j \leq n} \omega_{mj} + \max_{1 \leq j \leq n} \omega_{mj}} \end{aligned} \quad (1)$$

2.2.2 权重的计算

为了能简便且较直观地获得 $\omega_i(u_1, u_2, \dots, u_n)$, 引入在 $[0, u_m]$ 上定义的非负可微函数 $\lambda'_i(u)$, 使之满足 $\lambda'_i(u) \leq 0$, 并记 $\lambda_i(0) = \lambda_{0i}$, $\lambda_i(u_m) = \lambda_{mi}$, $\lambda_i(0)$ 和 $\lambda_i(u_m)$ 分别是 $\lambda_i(u)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 在 $[0, u_m]$ 上的最大值和最小值。

设对于某个主体, 已经给出了基础权重 $(\omega_{m1}, \omega_{m2}, \dots, \omega_{mn})$ 和 $(\omega_{01}, \omega_{02}, \dots, \omega_{0n})$, 令

$$\lambda_{mi} = \omega_{mi}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

可得

$$\begin{aligned} \omega_{0i} &= \frac{\lambda_{0i}}{\lambda_{0i} + \sum_{j \neq i} \omega_{mj}} \\ \text{故} \quad \lambda_{0i} &= \frac{\omega_{0i} \sum_{j \neq i} \omega_{mj}}{1 - \omega_{0i}} \end{aligned} \quad (2)$$

令

$$\begin{cases} \frac{d\lambda_i(u_i)}{du_i} = -\frac{u_m^{k_i-1}}{\lambda_i^* u_i^{k_i}} \lambda_i(u_i) (\lambda_i^* + \lambda_i(u_i)) \\ \lambda_i(0) = \lambda_{0i}, \quad \lambda_i(u_m) = \omega_{mi} \end{cases}$$

解得

$$\lambda_i(u_i) = \frac{\lambda_i^* \lambda_{0i}}{\lambda_i^* \exp\left(\frac{1}{1-k_i} \left(\frac{u_i}{u_m}\right)^{1-k_i}\right)} \quad (3)$$

其中

$$\lambda_i^* = \sum_{i=1}^n \lambda_{0i} \quad (4)$$

$$\sum_{j \neq i} \lambda_{0j} = \lambda_i^* \quad (5)$$

$$k_i = 1 - \frac{1}{\ln \frac{\lambda_{0i} (\lambda_i^* + \omega_{mi})}{\lambda_i^* \omega_{mi}}}$$

现设对于给定的一组单因素评估值 $u_1, u_2, \dots, u_n$, 已经找到了 $\lambda_i(u_i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 则

$$\omega_i(u_1, u_2, \dots, u_n) = \frac{\lambda_i(u_i)}{\sum_{j=1}^n \lambda_i(u_j)} \quad (6)$$

2.3 主观信任的模糊综合评估

网络中的某实体,为了对该实体进行可信评估,设该实体有 n 个因素 $N = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 并有 m 个决策者 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 参与决策. 现提出 $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_l\}$ 共 l 个方案, 现对这 l 个方案排序, 找出对实体评估的合理方案.

设第 i 个决策者 P_i 对第 k 个方案 Q_k 的第 j 个因素 $A_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 的评价为

$$(x_{ij}^{(k)}, y_{ij}^{(k)})$$
$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, l$$

其中, $x_{ij}^{(k)}, y_{ij}^{(k)} \in [0, u_m]$ 且 $x_{ij}^{(k)} < y_{ij}^{(k)}$, 它表明因素 A_j 的优越程度介于 $x_{ij}^{(k)}$ 与 $y_{ij}^{(k)}$ 之间. 取 $u_m = 100$ 又记

$$x_j^{(k)}(u) = \begin{cases} 1, & u \in (x_{ij}^{(k)}, y_{ij}^{(k)}) \\ 0, & u \notin (x_{ij}^{(k)}, y_{ij}^{(k)}) \end{cases} \quad (7)$$

其中 $u \in [0, u_m]$, 再令

$$u_j^{(k)}(u) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}^{(k)}(u) \quad (8)$$

$$u_j^{(k)} = \frac{\int_0^{u_m} u \mu_j^{(k)}(u) du}{\int_0^{u_m} \mu_j^{(k)}(u) du} \quad (9)$$

总假设 $\int_0^{u_m} \mu_j(u) du \neq 0$. 由式(7) ~ (9) 可得评估向量为

$$(u_1^{(k)}, u_2^{(k)}, \dots, u_n^{(k)}), \quad k = 1, 2, \dots, l$$

使用变权法, 并记

$$\omega_j^{(k)} = \omega_j(u_1^{(k)}, u_2^{(k)}, \dots, u_n^{(k)})$$

得到各方案的信任值为

$$u^{(k)} = \sum_{j=1}^n \omega_j^{(k)} u_j^{(k)}, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (10)$$

在评估信任等级时, 只要能求出信任度值 $u^{(k)} (u^{(k)} \in [0, 100], k = 1, 2, \dots, l)$ 就能够判别出实

体隶属度 $u_T(A)$, 进而评估出实体的信任等级.

3 数值实例分析

设有实体 A , 涉及 A_1, A_2, A_3 三个因素, 并有 P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 五个决策者对已提出的三个方案 Q_1, Q_2, Q_3 进行了评估, 其结果如表 1 所示. 取 $u_m = 100$.

由式(8)(9) 得

$$\mu_1^{(1)} = \begin{cases} 0.4, \mu \in (10, 15] \\ 1.0, \mu \in (15, 20] \\ 0.2, \mu \in (20, 25] \end{cases} \mu_2^{(1)} = \begin{cases} 0.4, \mu \in (85, 90] \\ 0.8, \mu \in (90, 95] \\ 0.8, \mu \in (95, 100] \end{cases}$$
$$\mu_3^{(1)} = \begin{cases} 0.4, \mu \in (45, 50] \\ 1.0, \mu \in (50, 55] \\ 0.8, \mu \in (55, 60] \\ 0.2, \mu \in (60, 65] \end{cases} \mu_4^{(2)} = \begin{cases} 0.4, \mu \in (45, 50] \\ 0.6, \mu \in (50, 55] \\ 0.8, \mu \in (55, 60] \\ 0.2, \mu \in (60, 65] \end{cases}$$
$$\mu_2^{(2)} = \begin{cases} 0.8, \mu \in (10, 15] \\ 0.6, \mu \in (15, 20] \\ 0.2, \mu \in (20, 25] \end{cases} \mu_3^{(2)} = \begin{cases} 0.2, \mu \in (85, 90] \\ 0.8, \mu \in (90, 95] \\ 0.4, \mu \in (95, 100] \end{cases}$$
$$\mu_1^{(3)} = \begin{cases} 0.6, \mu \in (85, 90] \\ 0.8, \mu \in (90, 95] \\ 0.6, \mu \in (95, 100] \end{cases} \mu_2^{(3)} = \begin{cases} 0.4, \mu \in (50, 55] \\ 0.6, \mu \in (55, 60] \\ 0.4, \mu \in (60, 65] \end{cases}$$
$$\mu_3^{(3)} = \begin{cases} 0.8, \mu \in (20, 25] \\ 0.6, \mu \in (25, 30] \\ 0.2, \mu \in (30, 35] \end{cases}$$

由式(10), 对于任意的 k 和 j , 得 $u_j^{(k)}$, 记 $u^{(k)} = (u_1^{(k)}, u_2^{(k)}, u_3^{(k)})$, 则

$$u^{(1)} = (16.88, 93.50, 54.17)$$
$$u^{(2)} = (54.32, 15.63, 93.21)$$
$$u^{(3)} = (92.50, 57.50, 25.63)$$

若对于因素 A_1, A_2, A_3 已知基础权重为 $(\omega_{m1}, \omega_{m2}, \omega_{m3}) = (0.35, 0.15, 0.5)$

表 1 决策者对因素的评估

方案因素 决策者	Q ₁			Q ₂			Q ₃		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
P ₁	(10, 20]	(90, 100]	(50, 65]	(50, 60]	(10, 15]	(90, 100]	(85, 100]	(60, 65]	(20, 25]
P ₂	(15, 20]	(95, 100]	(50, 60]	(55, 65]	(10, 20]	(90, 95]	(95, 100]	(55, 65]	(20, 30]
P ₃	(15, 25]	(85, 95]	(45, 60]	(45, 55]	(15, 25]	(85, 95]	(85, 95]	(55, 60]	(20, 30]
P ₄	(15, 20]	(85, 100]	(50, 60]	(45, 60]	(10, 15]	(90, 95]	(90, 95]	(50, 60]	(25, 35]
P ₅	(10, 20]	(90, 100]	(45, 55]	(55, 60]	(10, 20]	(95, 100]	(85, 100]	(50, 55]	(20, 25]

由式(1) ~ (5) 可计算出

$$(\omega_{01}, \omega_{02}, \omega_{03}) = (0.538, 0.231, 0.769)$$
$$(\lambda_{01}, \lambda_{21}, \lambda_{03}) = (0.758, 0.255, 1.667)$$

$$(\lambda_1^*, \lambda_2^*, \lambda_3^*) = (1.922, 2.425, 1.013)$$
$$\lambda^* = 2.68$$

于是由式(3)、(6)、(10) 即可算出方案 Q_1, Q_2 ,

Q_3 对因素 A_1, A_2, A_3 的变权值及综合评估值和文献 [3] 以基础权重为权值的“常权综合评估值”, 结果如表 2 所示.

表 2 综合评估值

方案	A_1	A_2	A_3	综合值	常权综合值
Q_1	0.717	0.179	0.104	34.46	49.29
Q_2	0.522	0.391	0.087	42.95	46.96
Q_3	0.413	0.405	0.182	66.16	70.22

由表 2 可知, 由文中提出的变权法综合评估值, 三个方案的排序为 $Q_3 > Q_2 > Q_1$, 在这三个方案中, 优选 Q_3 , 依据 Q_3 的综合值隶属于 $u_T(A) \in [50, 75]$, 于是对实体的评估结果为“很信任”; 而按常权综合值排序为 $Q_3 > Q_2 > Q_1$. 由于 Q_1 关于 A_1 的评估值很低, 为了保证 A_1 不被剔除, 突出了 A_1 的权值, 故 Q_1 排在最后是必然的, 所以按照常权综合值的方法是不理想的.

4 结束语

文中引入模糊决策理论中的隶属度的概念来描述信任的模糊性, 并定义了信任等级和综合评估机制^[7]. 此外, 依据评估值动态变化, 利用变权法实现了主观信任评估权值的动态分配, 突出了权值较小因素在评估中的作用. 同时对信任的程度进行了等级划分, 最后利用基于综合评估得到的可信值, 评估信任模型的信任等级.

参考文献:

- [1] 林闯, 彭雪海. 可信网络研究[J]. 计算机学报, 2005, 28(5): 751-757.
- [2] Abdul-Rahman A, Hailes S. A distributed trust model [C]//Proceedings of the 1997 New Security Paradigms Workshop. Golumbria, UK: ACM Press, 1998: 48-60.
- [3] 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.
- [4] Beth T, Borchherding M, Klein B. Valuation of trust in open network[C]//Proceedings of the European Symposium on Research in Security (ESORICS). Brighton: Springer-Verlag, 1994: 3-18.
- [5] 陈书义, 闻英友, 赵宏. 基于模糊集合的可信计算信任模型评估[J]. 计算机科学, 2008, 35(11): 39-42.
- [6] 黎梨苗, 陈志刚, 邓晓衡, 等. 基于模糊理论的主观信任综合评价模型研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(5): 1860-1862.
- [7] 张景安, 赵慧勤. P2P 网络中模糊信任模型研究[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(8): 158-162.

作者简介:

左双勇 男, (1985-), 硕士研究生. 研究方向为信息安全、可信计算.

陈光喜 男(1971-), 博士, 教授. 研究方向为信息安全、智能软件与算法.

丁勇 男(1975-), 博士, 教授. 研究方向为密码学与信息安全.

王祥玲 女(1986-), 硕士研究生. 研究方向为控制与决策理论.

(上接第 88 页)

计时攻击[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(5): 180-182.

[5] 李浪, 李仁发, 李静, 等. 一种 SMS4 加密算法差分功耗攻击[J]. 计算机科学, 2010, 37(7): 39-41.

[6] 胡样义, 刘彤. 动态对称密码算法的研究与探讨[J]. 网络安全技术与应用, 2006(3): 69-71.

[7] 郑秀林, 李敏. SMS 算法的一种改进[J]. 北京电子科技学院学报, 2007, 15(4): 16-18.

作者简介:

周术洋 男, (1983-), 硕士研究生. 研究方向为嵌入式计算.

彭蔓蔓 女, (1964-), 教授. 研究方向为计算机体系结构.

肖小欢 男, (1985-), 硕士研究生. 研究方向为嵌入式计算.