

文章编号: 1001-0920(2009)12-1885-05

基于 Jøsang 信任模型的信任传递与聚合研究

王 进^{1,2}, 孙怀江²

(1. 南通大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南通 226019; 2. 南京理工大学 计算机科学与技术学院, 南京 210094)

摘 要: 研究当前信任管理中的信任传递与信任聚合问题, 提出了信任传递与信任聚合应遵循的规则. 以 Jøsang 信任模型为例, 分析其信任传递与聚合方法的不足, 进而提出了新的信任传递方法和信任聚合方法. 分别通过实验和例子与 Jøsang 的信任传递和聚合方法进行了对比, 结果表明, 新信任传递方法更具一般性, 而新信任聚合方法更满足信任聚合的规则.

关键词: 信任模型; 信任聚合; 信任传递

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Trust transitivity and aggregation research based on Jøsang's trust model

WANG Jin^{1,2}, SUN Huai-jiang²

(1. College of Computer Science and Technology, Nantong University, Nantong 226019, China; 2. College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China. Correspondent: WANG Jin, E-mail: chinajimwang@gmail.com)

Abstract: Trust transitivity and aggregation of trust management are studied, and trust transitivity and aggregation rules are presented. Shortcomings of trust transitivity and trust aggregation methods in Jøsang's trust model are presented. A new trust transitivity approach is proposed for trust transitivity, and an approach is provided for trust aggregation. By the experiments and examples of the comparison of Jøsang's approach and aggregation method, the new trust transitivity approach is more general, and the new trust aggregation approach satisfies the rules of trust aggregation.

Key words: Trust model; Trust aggregation; Trust transitivity

1 引 言

开放已成为计算系统发展的方向. 在传统网络中, 信任关系的建立通常可以借助可信第三方, 例如认证中心. 而在开放社区中, 缺乏这类认证中心, 因此传统的方法已不再适用. 开放社区中交互的双方通常是陌生的, 为了在他们中间建立起信任关系, 研究人员提出了信任管理的方法. 信任管理是借鉴人类社会的信任机制, 研究如何在开放社区中建立起信任机制. 需要信任管理的开放社区有很多, 如网格, P2P 网络, Web 服务和在线电子商务系统等. 信任管理已成为国内外研究的一个热点. 国外的信任管理研究历史大约有 10 年, 目前涌现出一大批信任模型, 其中比较有代表性的有: EigenTrust^[1], PeerTrust^[2], Yu 和 Singh 信任模型^[3], Jøsang 信任模型^[4,6]等. 最近 5 年, 国内的信任管理研究也逐渐

兴起, 研究涉及在线信誉系统^[7,8], P2P 信任模型^[9]以及网格信任模型^[10]等.

信任传递和聚合是信任模型中非常核心的两个问题, 然而众多信任模型之间存在很大差异(信任表示和应用领域等不同). 本文仅以其中一个典型的信任模型——Jøsang 信任模型为例, 分析和研究信任的传递和聚合.

本文主要工作有: 1) 提出开放社区中信任传递和聚合应遵循的重要规则; 2) 提出 Jøsang 信任模型下新的信任传递方法; 3) 指出了 Jøsang 信任模型信任聚合方法的缺点, 同时提出一种新的信任聚合方法, 有效地改进了原有信任聚合方法.

2 Jøsang 信任模型

2.1 信任表示

Jøsang 等人以主观逻辑^[11]中的信任度模型为

收稿日期: 2008-09-26; 修回日期: 2009-04-20.

作者简介: 王进(1981—), 男, 江苏海安人, 讲师, 博士, 从事 Web 智能的研究; 孙怀江(1968—), 男, 哈尔滨人, 教授, 博士生导师, 从事模式识别与智能系统的研究.

基础,提出了用“观点”进行信任关系表示和度量.该方法引入了不确定表示和推理.观点的定义如下:

定义 1(观点) 四元组 $\omega = (b, d, u, a)$ 是一个观点.其中: b, d, u, a 分别表示信任、不信任、不确定和相对粒度,且满足 $b + d + u = 1$.

在 Josang 信任模型中,用更简单的三元组 $\omega_B^A = (b_B^A, d_B^A, u_B^A)$ 来表示 Agent A 对 Agent B 的主观信任评价.其中: $b_B^A + d_B^A + u_B^A = 1$,且 $b_B^A, d_B^A, u_B^A \in [0, 1]$.

2.2 信任传递

如图 1 所示,在某些情况下,Agent A 需要对 Agent T 进行信任评价,但是 A 与 T 之间并没有直接的交互经验,必须借助 B 对 T 的信任评价,这就是信任的传递.

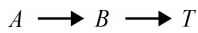


图 1 信任的传递

Josang 采用了推荐算子 \otimes 进行信任传递的运算.

定义 2(推荐算子) 令 ω_B^A 是 Agent A 对 Agent B 的信任评价, ω_T^B 是 Agent B 对 Agent T 的信任评价.用 \otimes 表示推荐算子,则 $\omega_T^{A,B} = \omega_B^A \otimes \omega_T^B$,

$$\begin{cases} b_T^{A,B} = b_B^A b_T^B, \\ d_T^{A,B} = b_B^A d_T^B, \\ u_T^{A,B} = d_B^A + u_B^A + b_B^A u_T^B. \end{cases}$$

可以看出,该推荐算子满足结合律,但不满足交换律,表明推荐的结果与推荐的顺序有关.

2.3 信任聚合

如图 2 所示,假设 Agent A 需要对 Agent T 进行信任评价,但是 A 与 T 之间没有直接的交互经验,必须借助 B 和 C 对 T 的信任评价 ω_T^B 和 ω_T^C ,此时需要对 ω_T^B 和 ω_T^C 进行聚合.

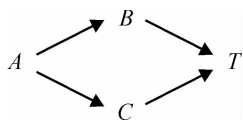


图 2 信任的聚合

Josang 采用合意算子 \oplus 进行信任聚合.

定义 3(合意算子) 设 B 和 C 是两个 Agent, $\omega_T^B = (b_T^B, d_T^B, u_T^B)$ 和 $\omega_T^C = (b_T^C, d_T^C, u_T^C)$ 是 Agent B 和 C 关于 T 的观点.令 $\kappa = u_T^B + u_T^C - u_T^B u_T^C$, $\gamma = u_T^C / u_T^B$.令观点 $\omega_T^{B \diamond C} = (b_T^{B \diamond C}, d_T^{B \diamond C}, u_T^{B \diamond C})$ 满足:

当 $\kappa \neq 0$ 时

$$\begin{cases} b_T^{B \diamond C} = (b_T^B u_T^C + b_T^C u_T^B) / \kappa, \\ d_T^{B \diamond C} = (d_T^B u_T^C + d_T^C u_T^B) / \kappa, \\ u_T^{B \diamond C} = (u_T^B u_T^C) / \kappa; \end{cases}$$

当 $\kappa = 0$ 时

$$\begin{cases} b_T^{B \diamond C} = (\gamma b_T^B + b_T^C) / (\gamma + 1), \\ d_T^{B \diamond C} = (\gamma d_T^B + d_T^C) / (\gamma + 1), \\ u_T^{B \diamond C} = 0. \end{cases}$$

则 $\omega_T^{B \diamond C}$ 表示 ω_T^B 和 ω_T^C 的聚合.用 \oplus 表示该算子,有定义 $\omega_T^{B \diamond C} \equiv \omega_T^B \oplus \omega_T^C$.

Josang 最初提出的合意算子^[11]没有考虑 $\kappa = 0$ 的情况,后来在文献[12]中进行了启发式的修改.但是本文发现该合意算子仍然存在不合理之处,详见第 4 节.

3 信任传递研究

在已有的信任模型中,EigenTrust 考虑了信任传递,认为这是对陌生成员进行信任评价的一个重要途径.PeerTrust 没有考虑信任传递问题.Yu 和 Singh 信任模型不但考虑了信任的传递,还提出了推荐信任的获取算法^[13].Josang 重点研究了信任的传递^[5],从分析信任传递的语义出发,将信任分为“推荐信任”和“功能信任”,并提出了信任传递和聚合的形式化表示方法.该研究已被广泛引用.

3.1 信任传递的重要规则

在现实社会中,信任传递的现象很普遍.著名的六度分离理论和小世界模型^[14]表明,通过朋友的推荐,每个人与世界上另外一个陌生人的距离(间隔人数)平均为 6.在计算系统中,出现了越来越多的开放社区,在这些开放社区中,交互双方大多是陌生的.受现实社会信任机制的启发,研究人员开始重视信任的传递问题.通过信任的传递,可以为陌生双方提供二手的信任评估,这就大大降低了交互的风险.

从直观上本文认为,开放社区中的信任传递至少应满足以下规则:

信任传递规则 1 在信任传递的过程中,信任应逐渐减少,不确定应逐渐增加;

信任传递规则 2 推荐信任和功能信任应有共同的功能目标.

规则 1 很好理解,在现实社会中,越是亲近的朋友越是信任.关于规则 2,例如在图 1 中,假设 B 相信 T 是能够提供高质量 Web 服务的成员,这就是功能信任;A 相信 B 能够推荐一个能提供高质量 web 服务的成员,这就是推荐信任.这个推荐信任和功能信任共同的功能目标就是“能够提供高质量 Web 服务的成员”.

3.2 新的信任传递方法

Josang 信任模型中的推荐算子虽然满足信任传递规则 1,但灵活性较差,难以刻画开放社区中成员的个性.因此,本文提出一种新的信任传递方法.

定义 4(新推荐算子) 令 ω_B^A 是 Agent A 对 Agent B 的信任评价, ω_T^B 是 Agent B 对 Agent T 的

信任评价. 假设 ω_B^A 和 ω_T^B 的功能目标相同, 则 $\omega_T^{A:B} = \omega_B^A \otimes \omega_T^B$,

$$\begin{cases} b_T^{A:B} = (b_B^A + \alpha u_B^A) b_T^B, \\ d_T^{A:B} = (b_B^A + \alpha u_B^A) d_T^B, \\ u_T^{A:B} = 1 - (b_B^A + \alpha u_B^A)(b_T^B + d_T^B). \end{cases}$$

其中: α 称为乐观因子, 且 $0 \leq \alpha < b_B^A(1 - b_T^B) / (u_B^A b_T^B)$. 可以验证, $b_T^{A:B} < b_B^A$ 且 $b_T^{A:B} < b_T^B$, 新推荐算子满足规则 1.

从信任的表示方法可知, u_B^A 表示不确定, 它可能包含信任, 也可能是不信任, 只是现在由于信息的缺乏而导致暂时的不确定. 假如 A 是保守的, 则 A 对 B 的信任最少是 b_B^A (即 $\alpha = 0$). Jøsang 信任传递方法是本文方法 $\alpha = 0$ 时的特例. 乐观因子的引入可以很好地刻画各个 Agent 的个性. 从下面的实验可以看出, 乐观的 Agent 可以相信更多的其他 Agent, 并有机会获得更好的服务, 同时也有助于解决冷开始^[15] 的问题. 冷开始是指社区的开始阶段成员之间完全陌生, 都很保守, 都不愿意与陌生成员交互, 从而使社区中的新成员长时间难以交互.

3.3 仿真实验

通过仿真实验将本文的信任传递方法与 Jøsang 的信任传递方法进行对比.

本文参照开放多 Agent 社区仿真平台^[3] 开发了一个仿真程序. 社区中存在 1000 个 Agent, 初始拓扑是一个正则环, 每个 Agent 拥有一个 5 维的兴趣向量和一个 5 维的知识向量. 每个 Agent 拥有邻居 (最多 4 个) 和熟人的模型, 并且保存最近 10 次的交互记录, 在交互过程中, 随着了解的深入, 会不断地修正这些模型. 为了刻画 Agent 的合作态度, 每个 Agent 还有一个合作参数 C, 取值在 $[0, 1]$ 之间, 即使能力满足请求, 但只要合作参数不允许, 就拒绝服务. 实验中恶意 Agent 的合作参数为 0.1, 其余 Agent 的合作参数为 1.

实验开始后, 每回合指定一个 Agent, 该 Agent 根据自己的兴趣向量产生请求向量并发送给自己的邻居, 邻居根据自己的能力判断是否能满足这个请求. 如果能满足, 则答复该请求, 并给出答案向量; 如果认为自己邻居的知识与请求相关, 则该邻居就推荐自己的邻居. 从请求到答复这一过程称为一次交互, 一个 Agent 发出请求到收到所有答复的过程称为一个回合. 发出请求的 Agent 根据交互的质量调整对邻居的信任评价, 定期地更新邻居. 因为整个交互过程没有人参与, 所以交互的服务质量 (QoS) 就定为请求与答案的相关度.

本文方法中, 每个 Agent 都拥有一个随机生成的乐观因子, 代表不同的个性. Jøsang 方法中, 乐观

因子为 0. 实验指标是交易成功率, 即收到的满意服务数与请求数之比. 实验中有 5 个社区, 每个社区中的恶意成员比例依次是 0%, 10%, 20%, 30%, 40%. 从图 3 中可以看出, 在恶意成员较少的社区中, 使用本文的信任传递方法可以得到较高的交易成功率; 但在恶意成员较多的社区中, Jøsang 的保守信任传递方法则更好一些. 可见, 乐观的成员在恶意成员较少的社区中更受益, 而在恶意成员较多的社区中则更吃亏. 另外, 每个 Agent 还可以动态地调节各自的乐观因子以对付不同的环境, 因此本文的信任传递方法更为灵活.

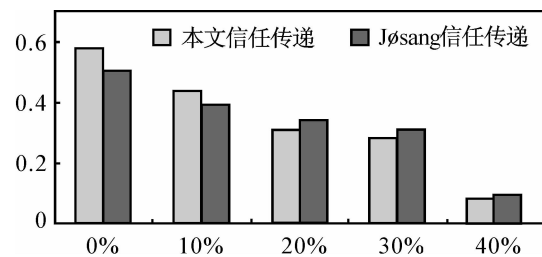


图 3 不同恶意成员比例的社区中本文方法与 Jøsang 方法的对比

4 信任聚合研究

信任聚合是信任管理中一个非常重要的问题. 虽然众多信任模型各有差异, 信任聚合方法各不相同, 但总体上来看, 可以分为 4 大类:

1) 累加. eBay.com 是一个著名的电子商务网站, 它规定成员交易后使用 -1, 0, 1 互相进行信任评价. eBay.com 把关于某成员 A_i 的所有评价相加, 作为 A_i 的声誉. 这种信任聚合方法非常简单, 在其他许多的信任模型中都有应用. 这种方法的优点是简单易懂, 缺点是表达能力有限. 例如 A_1 提供了 100 次高质量服务和 10 次低质量服务, A_2 提供了 90 次高质量服务, 声誉同样都是 90, 而这两种情况明显不一样.

2) 平均. epinions.com 和 amazon.com 都采用这种方法. 平均可以解决累加所出现的问题, 并且也不太复杂, 所以目前也被广泛使用.

3) 加权平均. 加权平均可以很好地抑制恶意成员的评价, 比上一种方法更具有鲁棒性. Yu^[16] 和 ReGret^[17] 都采用了这种方法.

4) 组合规则. 一些建立在比较严格的数学理论基础上的信任模型采用了更为复杂的组合规则. 例如建立在主观逻辑基础上的 Jøsang 信任模型采用了合意算子; 建立在 D-S 证据理论基础上的 Yu 和 Singh 信任模型则采用了 Dempster 组合规则.

4.1 信任聚合的重要规则

信任聚合应遵循以下几个重要规则:

信任聚合规则 1 交换律. 信任聚合的结果不应依赖聚合时的顺序.

信任聚合规则 2 结合律. 信任聚合的结果不应依赖聚合时的顺序.

信任聚合规则 3 $\omega_i \oplus \omega_0 = \omega_i$, 其中 ω_0 表示空证据. 空证据没有提供任何信息, 因此 ω_i 与之聚合的结果还是 ω_i 本身.

信任聚合规则 4 平滑. $\omega_A \oplus \omega_B \approx \omega'_A \oplus \omega_B$, 其中 $\omega_A \approx \omega'_A$. 参与聚合的某个 Agent 的观点发生微小的变化, 信任聚合结果不能剧烈变化.

信任聚合规则 5 少数服从多数. 这条规则是社会普遍适用的, 当聚合多个 Agent 的观点时, 应该满足少数服从多数.

4.2 新的信任聚合方法

Jøsang 信任模型采用合意算子进行信任聚合, 这种方法不满足信任聚合规则 4 和规则 5. 如表 1 所示, Agent A_2 的观点发生了微小的变化, 但是聚合结果却可能变化很大, 所以 Jøsang 的信任聚合方法不满足信任聚合规则 4.

表 2 中, A_1 与 $A_2 \sim A_6$ 的观点差异很大, 但聚合

表 1 Jøsang 合意算子不平滑

		<i>b</i>	<i>d</i>	<i>u</i>
第 1 组数据	A_1	0.9	0.1	0
	A_2	0.099	0.9	0.001
	聚合结果	0.9000	0.1000	0.0000
第 2 组数据	A_1	0.9	0.1	0
	A_2	0.1	0.9	0
	聚合结果	0.5000	0.5000	0.0000

表 2 Jøsang 合意算子可能不满足少数服从多数

	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>u</i>
A_1	0.9	0.1	0
$A_2 \sim A_6$	0	0.9	0.1
聚合结果	0.9000	0.1000	0.0000

结果却是占少数派的 A_1 的观点, 这就违背了信任聚合规则 5.

针对 Jøsang 的信任聚合方法的缺点, 本文提出了一种新的信任聚合方法.

定义 5(新信任聚合方法) 设 A 和 B 是两个 Agent, $\omega_x^A = (b_x^A, d_x^A, u_x^A)$ 和 $\omega_x^B = (b_x^B, d_x^B, u_x^B)$ 是 Agent A 和 B 关于 Agent A_x 的观点. 令 $K = 1 - (b_x^A d_x^B + d_x^A b_x^B)$. 令组合观点为 $\omega_x^{A,B} = (b_x^{A,B}, d_x^{A,B}, u_x^{A,B})$. 其中:

1) 当 $K \neq 0$ 时

$$b_x^{A,B} = (b_x^A u_x^B + b_x^B u_x^A + b_x^A b_x^B) / K,$$

$$d_x^{A,B} = (d_x^A u_x^B + d_x^B u_x^A + d_x^A d_x^B) / K,$$

$$u_x^{A,B} = (u_x^A u_x^B) / K;$$

2) 当 $K = 0$ 时

$u_x^A = u_x^B = 0$, 令 $\omega_x^A = ((1-\omega)b_x^A, (1-\epsilon)d_x^A, \epsilon + u_x^A)$, $\omega_x^B = ((1-\epsilon)b_x^B, (1-\epsilon)d_x^B, \epsilon + u_x^B)$, ϵ 取很小的数(本文中 $\epsilon = 0.001$), 可使得 $K \neq 0$, 从而近似计算.

该方法中第 1) 步是 Dempster 组合规则^[18] 在 $|\Theta| = 2$ 时的一个特例; 第 2) 步的处理则是使其能够聚合完全矛盾的两个观点. 可以验证, 新信任聚合方法满足交换律和结合律, 对观点的聚合有增强的作用. 并且 $b_x^{A,B} + d_x^{A,B} + u_x^{A,B} = 1$, 满足观点的空间要求. 新信任聚合方法的不足之处是它是一个启发式的计算方法. Jøsang 在文献[12] 中对合意算子进行了启发式的修改.

4.3 对比分析

将本文的新信任聚合方法与 Jøsang 的信任聚合方法进行对比分析. 在表 3 中, A_2 的观点有微小的变化, Jøsang 的信任聚合结果变化很大; 而新信任聚合方法的结果只有很微小的变化. 说明该例中新信任聚合方法有很好的平滑性, 满足信任聚合规则 4.

在表 4 中, 新信任聚合方法的结果与大多数

表 3 对信任聚合规则 4 的对比例子

		<i>b</i>	<i>d</i>	<i>u</i>
第 1 组数据	A_1	0.9	0.1	0
	A_2	0.099	0.9	0.001
	Jøsang 信任聚合方法	0.9000	0.1000	0.0000
	新信任聚合方法	0.4997	0.5003	0.0000
第 2 组数据	A_1	0.9	0.1	0
	A_2	0.1	0.9	0
	Jøsang 信任聚合方法	0.5000	0.5000	0.0000
	新信任聚合方法	0.5000	0.5000	0.5000

表 4 对信任聚合规则 5 的对比例子

	b	d	u
A_1	0.9	0.1	0
$A_2 \sim A_6$	0	0.9	0.1
Jøsang 信任聚合方法	0.9000	0.1000	0.0000
新信任聚合方法	0.0001	0.9999	0.0000

Agent($A_2 \sim A_6$) 的观点基本保持了一致, 这表明新方法满足信任聚合规则 5。

5 结 论

本文以当前具有代表性的 Jøsang 信任模型为例, 研究了信任管理中的信任传递与聚合问题。乐观因子可以很好地描述 Agent 乐观程度的差异, 乐观的 Agent 比保守的 Agent 更有可能发现距离较远的高质量服务者。从开放社区的宏观角度来讲, 一定数目的乐观 Agent 有助于促进社区内 Agent 之间的交互, 消除冷开始的负面影响。Jøsang 信任聚合方法有可能不满足信任聚合规则 4 和规则 5, 而新信任聚合方法有效地克服了 Jøsang 信任聚合的这个缺点, 满足了开放社区中的信任聚合规则。

参考文献 (References)

- [1] Kamvar S D, Schlosser M T, Garcia-Molina H. The eigentrust algorithm for reputation management in P2P networks[C]. WWW'2003. Budapest, 2003: 640-651.
- [2] Xiong L, Liu L. Peertrust: Supporting reputation based trust for P2P electronic communities[J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(7): 843-857.
- [3] Yu B, Singh M P. An evidential model of distributed reputation management[C]. Proc of the 1st Int Conf on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS). Bologna, 2002: 82-93.
- [4] Jøsang A, Ismail R. The beta reputation system[C]. Proc of the 15th Bled Conf on Electronic Commerce. Bled, 2002: 17-19.
- [5] Jøsang A, Pope S. Semantic constraints for trust transitivity[C]. Proc of the 2nd Asia-pacific Conf on Conceptual Modeling. Newcastle, 2005: 59-68.
- [6] Jøsang A, Bhuiyan T. Optimal trust network analysis with subjective logic[C]. Proc of the 2nd Int Conf on Emerging Security Information, Systems and Technologies. Cap Esterel, 2008: 179-184.
- [7] 朱艳春, 刘鲁, 张巍. 在线信誉系统中的信任模型构建研究[J]. 控制与决策, 2007, 22(4): 413-417. (Zhu Y C, Liu L, Zhang W. Study of trust model in online reputation system [J]. Control and Decision, 2007, 22(4): 413-417.)
- [8] 张巍, 刘鲁, 朱艳春. 在线信誉系统研究现状与展望[J]. 控制与决策, 2005, 20(11): 1201-1207. (Zhang W, Liu L, Zhu Y C. Recent developments and prospect of online reputation systems[J]. Control and Decision, 2005, 20(11): 1201-1207.)
- [9] 田春岐, 邹仕洪, 王文东, 等. 一种新的基于改进型 D-S 证据理论的 P2P 信任模型[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(6): 1480-1484. (Tian C Q, Zou S H, Wang W D, et al. A new trust model based on advanced D-S evidence theory for P2P networks [J]. J of Electronics and Information Technology, 2008, 30(6): 1480-1484.)
- [10] 林剑柠, 吴慧中. 基于主观逻辑理论的网格信任模型分析[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(8): 1365-1370. (Lin J N, Wu H Z. Research on a Trust model based on the subjective logic theory [J]. J of Computer Research and Development, 2007, 44(8): 1365-1370.)
- [11] Jøsang A. A logic for uncertain probabilities[J]. Int J of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, 2001, 9(3): 279-311.
- [12] Jøsang A. The consensus operator for combining beliefs[J]. Artificial Intelligence Journal, 2002, 141(1/2): 157-170.
- [13] Yu B, Singh M P. Searching social networks[C]. Proc of 2nd Int Joint Conf on Autonomous Agents and Multi-agent Systems. New York, 2003: 65-72.
- [14] 汪小帆, 李翔, 陈关荣. 复杂网络理论及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006. (Wang X F, Li X, Chen G R. Complex networks theory and application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.)
- [15] Schein A I, Popescul A, Ungar L H, et al. Method and metrics for cold-start recommendations[C]. Proc of the 25th Annual Int ACM SIGIR Conf of Research and Development in Information Retrieval. Tampere, 2002: 253-260.
- [16] Yu B, Singh M P. Detecting deception in reputation management[C]. Proc of the 2nd Int Joint Conf on Autonomous Agents and Multi-agent Systems. Melbourne, 2003: 73-80.
- [17] Sabater J, Sierra C. Regret: A reputation model for gregarious societies[C]. Proc of the 4th Workshop on Deception, Fraud and Trust in Agent Societies. Montreal, 2001: 61-69.
- [18] Shafer G. A mathematical theory of evidence [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1976.