

面向决策的信任融合模型研究

徐培¹ 廉彬^{1,2} 邵堃¹ 陈俊¹ 安宁¹

(合肥工业大学计算机与信息学院 合肥 230009)¹ (安徽省经济信息中心 合肥 230001)²

摘要 信任关系模型无论是在现实生活中还是在开放网络中都是最复杂的社会关系模型之一,是一个很难度量的抽象的心理认知,因为它涉及假设、期望、行为和环境等多种因素。借鉴以往的研究经验,综合考虑多种信任关系要素,提出了一种新的面向决策的信任融合模型。该模型基于直接信任度、间接信任度和信誉值的演化,依据信任融合获得决策信任度,为主体评判下一次的交互提供依据。为了证明信任融合模型的有效性,假设客体在 ω 类活动中以期望为 P_x 的概率从事该项活动。实验证明,信任融合模型得到的决策信任度和客体可信度的差异明显小于直接信任度、间接信任度或信誉值。

关键词 信任管理,信任模型

中图分类号 TP31 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.12.034

Research on Fusion Trust Model for Decision-making

XU Pei¹ LIAN Bin^{1,2} SHAO Kun¹ CHEN Jun¹ AN Ning¹

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)¹

(Anhui Economic Information Center, Hefei 230001, China)²

Abstract The trust relationship model is one of the most complex social relation models either in real life or in the open networks. It is an abstract cognitive psychology with difficult measure, because it involves assumptions, expectations, behavior and environment, and other factors. Drawing on previous research experience, considering the variety of trust factor, this paper proposed a new trust fusion model for decision-making. This model is based on the evolution of direct trust, indirect trust and reputation, and is on the basis of trust fusion to obtain the decision trust. In order to prove the validity of the trust fusion model, we assumed object makes class A activity in the expectations of the probability P. Experimental verification shows that the difference of decision trust and credibility of the object is significantly less than the difference of decision trust, indirect trust or reputation and credibility of the object.

Keywords Trust management, Trust model

1 引言

1.1 背景

信任关系作为人类社会一种普遍的人际关系,在日常生活的各种交互活动中得以广泛的应用。随着计算机及信息技术的发展,越来越多的交互活动开始转向网络环境,例如网上交易平台使得大量的商品交易得以在网络环境中完成,社交网络平台使得用户可在网络环境下进行各种社交活动。网络环境为交互活动提供了便捷,但由于网络环境具有动态性、难控性和开放性等特点,传统物理环境下对信任的感知已无法适用于开放的网络环境。

信任评估^[1]就是在这一背景下发展起来的一种理论技术,其研究的重点是对参与交互的客体之间的信任度进行实时计算,获得交互行为双方应该有的信任度,并提供决策帮

助。开放、动态网络环境下的信任评估研究将信任描述为信任主体(trustor)以自身认知和经验为基础对信任客体(trustee)的判断。信任本身不是事实或者证据,而是有关于观察到的事实和知识的主观感受,因此信任具有主观性和动态性,且每次交互行为的信任关系都会受到自身因素和外部环境的影响。信任评估研究将信任分为两种:直接信任(T_D)和间接信任(T_I)。直接信任是信任主体对信任客体最直接的认知,在信任关系中占据着主导地位,是最重要的组成部分。间接信任的形成是主体通过直接经验或者心理预期并参考第三方的推荐形成的。这个过程中,存在着直接信息与间接信息的比较,以及对直接信息和间接信息的分析、辨别和过滤等行为。

信誉是不同于信任的一个概念,其体现的是社会实体内在的一种对于诚信的本质属性,具有相对的稳定性。不同于

到稿日期:2015-02-03 返修日期:2015-03-19 本文受国家自然科学基金面上项目(61370219, 51274078),教育部高等学校学科创新引智计划(B14025)资助。

徐培(1991-),男,硕士生,主要研究方向为软件理论, E-mail: xu.pei@foxmail.com; 廉彬(1981-),男,硕士生,主要研究方向为软件理论; 邵堃(1967-),男,博士,副教授,主要研究方向为软件理论、需求工程; 陈俊(1990-),男,硕士生,主要研究方向为软件理论; 安宁(1971-),男,博士,教授,主要研究方向为老人福祉科技、移动健康。

一次交互行为产生的信任关系,信誉反映的是在客体的社会活动范围内对于其信任度的普遍认同。相比信任来说,信誉更容易评估和量化。信誉虽然和信任不同,但和信任之间有着必然的联系,简单地说就是“普遍的信任形成信誉”^[1]。

总之,信任体现的是一次交互行为中构成的,信任主体对于信任客体的实时主观的感知;而信誉则是信任客体在一次交互行为中体现出的客观的被广泛接受的属性。由于直接信任、间接信任和信誉从不同的测度反映出信任客体对于信任度的评估值,因此当信任主体对信任客体的直接信任、间接信任和信誉评价出现差异时,将难以单独依据某一种信任关系要素做出合理的信任度判断。深入研究信任和信誉的关系,将直接信任、间接信任与信誉相融合,能够有效地提高信任度评估的可靠性,对于建立适合软件社区环境的信任评估模型具有重要的理论和现实意义。

1.2 相关工作分析

1996年,AT&T实验室的Blaze等人^[3]为解决互联网环境下网络应用服务的安全问题,首次提出了“信任管理(Trust Management, TM)”的概念,认为分布式环境下的安全问题需要可信任的第三方提供安全决策信息^[4]。与本文论相近的研究工作有,Winsborough等人^[5]提出的一种资源请求者和资源提供者自动建立信任关系的协商(Automated Trust Negotiation)机制。该方法需要服务提供者事先为请求者颁发具有指定权限的证书,因此在陌生客体间无法建立动态信任关系。金芝、朱曼玲等人^[6]提出了一个基于服务客体的计算框架,并从社交认知的角度建立了一个服务客体的信任本体,支持服务客体对信任信息进行推理,帮助服务客体进行理性的选择决策。Alvarez等人^[7]从信任的定义出发,基于信任的主观性,对信任评估进行了数学建模。

对比现有研究工作,当前信任评估模型侧重于对某一种信任关系的研究,孤立地看待直接体验信任和推荐信任度。如在间接信任的计算过程中,仅仅使用了推荐信任度的数值,而并没有反映出数值背后的一些信息,割裂了直接信任与间接信任,忽视了两者之间的关系。本文量化各种影响因素,使用已有的历史数据对权重值进行推断和预测,以此为基础对直接信任、间接信任和信誉三者进行融合,并做出决策。

2 动态信任的稳定性

信任^[8]是主体对客体信任程度的数学度量,一般来说,信任被划分为直接信任和间接信任。其中,直接信任是主体通过与客体间的直接交互,根据直接经验得到的;间接信任是通过第三方推荐的方式得到的。

可信度表示客体值得信任的程度,体现的是客体内在的一种对于诚信的本质属性,是由客体的内在因素或者说是本质属性决定的,在客体以及外部环境都没有发生较大变动的情况下,可信度处于相对稳定状态。随着主体对客体了解程度的加深,直接信任度的发展趋向于客体的本质属性,也就是客体的可信度;对于间接信任度,如果不存在恶意推荐的情况,那么推荐集的推荐信任应该也是集中在客体可信度的附近。所以,随着信任主体对客体认知的逐渐加深,间接信任度逐渐收敛于信任客体的可信度。

定义1(直接信任度, T_D) 直接信任度是主体对客体进

行成功交互行为的概率。

直接信任度是主体和客体进行交互行为中,它的社会因素、环境因素、心理因素等方面影响的结果,因此是一个统计量。直接信任度不是永远不变的,它会随着交互次数的增加而变化。

定义2(间接信任度, T_I) 间接信任度指客体间通过第三方推荐形成的信任度。客体 i 对 j 的间接信任度为:

$$T_I^{(i,j)} = \frac{\sum_{k=1}^m \alpha_{i,k} T_D^{(k,j)}}{\sum_{k=1}^m \alpha_{i,k}} \quad (1)$$

其中, $\alpha_{i,k}$ 表示客体 i 对 k 的了解程度。

定义3(信誉度, re) 信誉度是所有主体对于某客体的信任度的加权平均值。

信誉度反映的是客体在系统中的信任程度,它是每一个客体对该客体直接信任度的统计平均。第 j 个客体的信誉度为:

$$re_j = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_{ij} T_D^{(i,j)}}{\sum_{i=1}^m \mu_{ij}} \quad (2)$$

其中, μ_{ij} 表示第 i 个客体对第 j 个客体的信任影响度。

定义4(决策信任, T_{DS}) 决策信任指的是在某次特定的协作活动中,主体与客体成功进行一次协作活动的概率。这个概念和直接信任度有所区别,决策信任除了受直接信任度影响之外,还受间接信任度(第三方推荐)和信誉度的影响。

在信任主体判断是否与客体进行交互行为时,决策信任主要用于为主体的交互行为提供判断依据。

定义5(决策融合模型) 决策融合模型可表示为一个三元组:

$$\sigma = F(T_D^{(i,j)}, T_I^{(i,j)}, re_j) \quad (3)$$

其中, $T_D^{(i,j)}$ 表示客体 i 对 j 的直接信任度; $T_I^{(i,j)}$ 表示客体 k 对 j 的间接信任度; re_j 表示客体 j 的信誉度。

设定信任客体 C 的信誉度为 re_C ,随着时间 t 的推移,客体 A 与客体 C 进行协作成功的概率为 $P_{A \rightarrow C}^t$,该概率可能会被时间、交互的对象等多种因素影响。这些因素会造成不同的主体在不同的时间对客体的认知不同,从而做出不同的决策判断。

在本文中直接信任度和间接信任度会随着交互次数的增加而发生变化,而信誉度由于有整体的统计性质,因此会相对稳定。

设客体 X 从事 ω 类协作活动概率的期望为 $P_X^{(\omega)}$ 。客体的信誉度(re)是客体可信度的度量,反映了其客体的固有属性,是稳定的,但是该客体针对不同的协作会以不同的概率做出成功交互行为,即:

$$E(T_{DS}^{(\omega)}) = P_X^{(\omega)} \quad (4)$$

在主体 A 和客体 C 进行交互的过程中,即使考虑到第三方客体的推荐信息,要获得 re_C 依旧是一个漫长的过程。但是 C 作为一个社会实体,具有社会性,在物理环境中,该客体以其自身的可信度长期地进行各项社会活动,其信誉值体现在各类历史经验中。假设客体 C 为物理环境中的一个成员,银行、学校、无线业务等各类 C 曾经参与过交互行为的体系均可以根据 C 的历史交互行为做出综合评判,综合各种体系

获取评判结果。由于该评判结果是依据 C 长期性社会活动结果所得到的,因此该评判结果体现了 C 的可信度。

3 决策融合模型

决策信任主要依靠直接信誉度(T_D)、间接信誉度(T_I)和信誉值(re)的演化进行决策融合,并将其作为决策依据,为下一次交互行为提供参考。如图1所示,在已知 T_D 、 T_I 和 re 的情况下,数据之间存在6种关系。

- CASE1: $re \leq T_D < T_I$
- CASE2: $T_D < T_I \leq re$
- CASE3: $T_I < T_D \leq re$
- CASE4: $re \leq T_I < T_D$
- CASE5: $T_I < re < T_D$
- CASE6: $T_D < re < T_I$

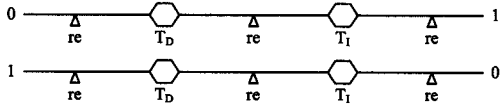


图1 T_D 、 T_I 和 re 的关系图

决策融合的结果可以用式(5)表示:

$$T_{DS}^{(\omega)} = \begin{cases} T_D^{(\omega)}, & T_I \text{ not exist} \\ T_I^{(\omega)}, & T_D \text{ not exist} \\ \alpha \cdot T_D^{(\omega)} + (1-\alpha) \cdot re, & \text{CASE1, CASE3} \\ \alpha \cdot T_I^{(\omega)} + (1-\alpha) \cdot T_D^{(\omega)}, & \text{CASE2, CASE4} \\ \alpha \cdot T_D^{(\omega)} + (1-\alpha) \cdot T_I^{(\omega)}, & \text{CASE5, CASE6} \end{cases} \quad (5)$$

其中, $T_D^{(\omega)}$ 、 $T_I^{(\omega)}$ 分别表示主体与客体从事 ω 类协作活动的直接信任度和间接信任度, $T_{DS}^{(\omega)}$ 表示客体下一次欲从事 ω 类协作活动的决策信任度,决策融合的关键在于决策权重 α 的取值问题。下面分别对这几种情况进行讨论。

1) CASE1 or CASE3(如图2所示)

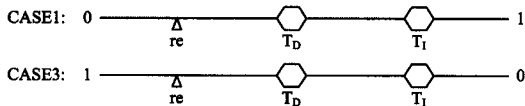


图2 CASE1 和 CASE3

在 CASE1 or CASE3 情况下,可以认为以下推理是合理的。

- a)在 CASE1 情况下,因 T_D 、 T_I 均大于 re ,故可以认为客体 C 以期望高于 re 的概率从事 ω 类协作活动,即 $P_C^{(\omega)} \geq re$ 。
- b)在 CASE3 情况下,由于 T_D 、 T_I 均小于 re ,可以认为客体 C 以期望低于 re 的概率从事 ω 类协作活动,即 $P_C^{(\omega)} \leq re$ 。
- c)客体 C 是否从事 ω 类协作活动的概率是其固有属性的体现,只是因客体自身的偏好等因素而造成一定的差异,所以 $|P_C^{(\omega)} - re|$ 较小。
- d) $T_{DS}^{(\omega)}$ 体现的是对客体 C 与主体 A 之间下一次交互行为的预测,由于 $|T_D^{(\omega)} - re| < |T_I^{(\omega)} - re|$ 体现出 $T_{DS}^{(\omega)}$ 具有较高的参考价值,而且直接经验体现了客体 C 对主体 A 的认知情况以及偏好,因此 $|T_{DS}^{(\omega)} - T_D^{(\omega)}|$ 较小。
- e)由于 $T_I^{(\omega)}$ 与 re 差异度较大,并且不能完全排除恶意推荐的可能,因此在对客体 C 的下一交互行为进行判断时 T_I 的影响较小。

由推理 a)~e)可得,在 CASE1 or CASE3 情况下 $T_{DS}^{(\omega)}$ 的取值主要依据 $T_D^{(\omega)}$ 是合理的,不仅符合客观实际,也符合客体的主观心理。

2) CASE2 or CASE4(如图3所示)

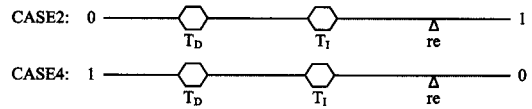


图3 CASE2 和 CASE4

在 CASE2 or CASE4 情况下,可以认为以下推理是合理的。

- a)在 CASE2 情况下,由于 T_D 、 T_I 均小于 re ,因此可以认为客体 C 以期望低于 re 的概率从事 ω 类协作活动,即 $re \geq P_C^{(\omega)}$ 。
- b)在 CASE4 情况下,由于 T_D 、 T_I 均大于 re ,因此可以认为客体 C 以期望高于 re 的概率从事 ω 类协作活动,即 $re \leq P_C^{(\omega)}$ 。
- c)客体 C 是否从事 ω 协作活动是其固有属性的体现,只是因客体自身的偏好等因素而造成一定的差异,所以 $|P_C^{(\omega)} - re|$ 较小。

d) $T_{DS}^{(\omega)}$ 体现的是对客体 C 与主体 A 之间下一次交互行为的预测,由于 $|T_I^{(\omega)} - re| < |T_D^{(\omega)} - re|$,体现出 T_I 具有较高的参考价值,因此 $|T_{DS}^{(\omega)} - T_I^{(\omega)}|$ 较小。

e) $T_D^{(\omega)}$ 与 re 的差异度比 $T_I^{(\omega)}$ 与 re 的差异度大,这可以认为是客体 C 对主体 A 认知不足所造成的。随着认知的增进, $T_D^{(\omega)}$ 与 re 的差异度会逐渐减小,因此 $|P_C^{(\omega)} - T_D^{(\omega)}|$ 在逐渐变小。

f)直接经验体现了客体 C 对主体 A 的认知情况以及偏好,客体 C 判断是否与主体 A 进行交互行为主要是以自身的经验来进行的,所以在对客体 C 的下一交互行为进行推测判断的时候,不能摒弃直接经验。

由推理 a)~f)可得,在 CASE2 or CASE4 情况下 $T_{DS}^{(\omega)}$ 主要依据 $T_I^{(\omega)}$ 和 $T_D^{(\omega)}$ 是合理的,不仅符合客观实际,也符合客体的主观心理。

3) CASE5 or CASE6(如图4所示)

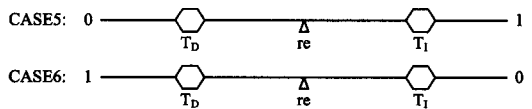


图4 CASE5 和 CASE6

在 CASE5 or CASE6 情况下,由于 re 处于直接信任度和间接信任度之间,无法得知 $P_C^{(\omega)}$ 大于还是小于 re ,且无法获知 $|P_C^{(\omega)} - T_D^{(\omega)}|$ 与 $|P_C^{(\omega)} - T_I^{(\omega)}|$ 究竟谁大谁小,从而无法参考间接信任度的取值情况。在该情况下,可以最大限度地利用主体自身的直接经验、间接经验、心理期望以及客体信誉度来考察决策信誉的取值情况。

设 $\beta^{(\omega)}$ 为在 ω 类活动中,主体对客体下一次交互行为为可接受的失败概率。从徐峰等人提出的风险角度来考察^[11],得知信任主体 A 希望在与信任客体 C 进行协作活动时失败的可能性小于或等于 $\beta^{(\omega)}$ 。下面就 CASE5 和 CASE6 两种情况进行讨论。

在 CASE5 情况下:

$$T_B^{(\omega)} > re > T_I^{(\omega)} \Rightarrow 1 - T_B^{(\omega)} < 1 - re < 1 - T_I^{(\omega)} \quad (6)$$

在 CASE6 情况下:

$$T_I^{(\omega)} > re > T_D^{(\omega)} \Rightarrow 1 - T_I^{(\omega)} < 1 - re < 1 - T_D^{(\omega)} \quad (7)$$

令 $f^{(\omega, X)}$ 为在 X 情况下, 客体从事 ω 类协作活动下一次可能失败的概率。那么, 在 CASE5 or CASE6 情况下可以认为以下推理是合理的。

a) 客体 C 是否从事 ω 协作活动是其固有属性的体现, 只是因客体自身的偏好等因素而造成一定的差异, 即 $|P_C^{(\omega)} - re|$ 较小, 所以 $|f^{(\omega, X)} - (1 - re)|$ 较小。

b) 直接经验体现了信任客体间的认知情况以及偏好, 主体 A 判断是否与客体 C 进行交互行为主要是以主体自身的经验来进行的, 同样客体 C 对 A 做出的交互行为也是主要以与 A 的历史交互经验作为依据, 所以 $|f^{(\omega, X)} - (1 - T_D^{(\omega)})|$ 较小。

由推理 a)、b) 可以得到以下推论: CASE5 情况下 $1 - T_D^{(\omega)} < f^{(\omega, \text{CASE5})} < 1 - T_I^{(\omega)}$, CASE6 情况下 $1 - T_I^{(\omega)} < f^{(\omega, \text{CASE6})} < 1 - T_D^{(\omega)}$, 即

$$f^{(\omega, X)} = \gamma^{(\omega, X)} \cdot (1 - T_D^{(\omega)}) + (1 - \gamma^{(\omega, X)}) \cdot (1 - re) \quad (8)$$

其中, $\gamma^{(\omega, X)}$ 为在 X 情况下的融合因子, 下一步关键是要确定 $\gamma^{(\omega, X)}$ 的取值。由上面的推论得知, $\gamma^{(\omega, X)}$ 的取值情况主要依据 $T_B^{(\omega)}$ 和 re , 参考 $T_I^{(\omega)}$ 。可用式(9)来计算 $\gamma^{(\omega, X)}$:

$$\gamma^{(\omega, X)} = \gamma_{\min}^{(\omega, X)} + \frac{|T_I^{(\omega)} - re|}{|T_I^{(\omega, \max)} - re|} (\gamma_{\max}^{(\omega, X)} - \gamma_{\min}^{(\omega, X)}) \quad (9)$$

考察人的心理, 得知当 $T_I^{(\omega)}$ 与 $T_D^{(\omega)}$ 及 re 的差异度越大, 即 $|T_I^{(\omega)} - T_D^{(\omega)}|$ 和 $|T_I^{(\omega)} - re|$ 越大时, $T_I^{(\omega)}$ 的影响力越小。在 $T_I^{(\omega)}$ 与 $T_D^{(\omega)}$ 及 re 的差异度最大的情况下, $T_I^{(\omega)}$ 取得最大值, $T_I^{(\omega)} = T_I^{(\omega, \max)}$, 此时 $T_I^{(\omega)}$ 的影响力近似等于 0, 无需考虑 $T_I^{(\omega)}$ 的影响能力, 该情况下 $\gamma^{(\omega, X)}$ 取得最大值 $\gamma_{\max}^{(\omega, X)}$ 。在 $T_I^{(\omega)}$ 与 $T_D^{(\omega)}$ 及 re 的差异度最小的情况下, $T_I^{(\omega)}$ 取得最小值, 此时 $T_I^{(\omega)} = re$, $T_I^{(\omega)}$ 的影响力达到最大, 但是不能忽略 $T_D^{(\omega)}$ 的重要性, 该情况下 $\gamma^{(\omega, X)}$ 取得最小值 $\gamma_{\min}^{(\omega, X)}$, 具体取值情况因各个客体的个体差异不同而不同。

获得客体 C 与主体 A 下一次交互可能失败的概率 $f^{(\omega, X)}$ 后, 参考 $T_I^{(\omega)}$, 并考虑个人承受的风险因素, 可以获得 $\beta^{(\omega)}$ 的详细取值情况, 如下:

$$\beta^{(\omega)} = f^{(\omega, X)} + \tau \quad (10)$$

其中, τ 为风险因子, 即个人所能承受风险的体现^[9-12], 取值因各个主体的个体差异不同而不同, 可以为正值或负值。正值表示主体承担风险的能力较大, 负值表示承担风险的能力较小。用 $\beta^{(\omega, \text{CASE5})}$ 和 $\beta^{(\omega, \text{CASE6})}$ 分别表示 $\beta^{(\omega)}$ 在 CASE5 和 CASE6 下的取值。

假设主体与客体进行 ω 类协作活动的总次数为 $N_{\text{sum}}^{(\omega)}$, 协作成功的次数为 $N_{\text{success}}^{(\omega)}$, 不成功的次数为 $N_{\text{fail}}^{(\omega)}$ 。这些协作活动事件可看作是一个容量为 $N_{\text{sum}}^{(\omega)}$ 的样本空间, 由于所有协作活动都只有成功或是失败两种结果, 因此在 C 多次进行此类协作活动时, 其失败的次数 X 和成功的次数 Y 可看作是一个服从二项分布的随机事件。

设定 $P_{\text{fail}}^{(\omega)}$ 为在可接受失败概率下, C 进行 ω 类活动失败的次数 $X \geq N_{\text{fail}}^{(\omega)}$ 的概率, 由经验信息可得 $X \sim B(N_{\text{sum}}^{(\omega)}, \beta^{(\omega)})$, 所以:

$$P_{\text{fail}}^{(\omega)} = P_{\beta^{(\omega)}}(X \geq N_{\text{fail}}^{(\omega)})$$

$$= \sum_{i=N_{\text{fail}}^{(\omega)}}^{N_{\text{sum}}^{(\omega)}} C_{N_{\text{sum}}^{(\omega)}}^{i} (\beta^{(\omega)})^i (1 - \beta^{(\omega)})^{(N_{\text{sum}}^{(\omega)} - i)} \quad (11)$$

设定 $P_{\text{success}}^{(\omega)}$ 为 A 对 C 的成功期望为 $T_{\text{DS}}^{(\omega)}$, 即 A 希望 C 成功完成协作活动的可能性大于或等于 $T_{\text{DS}}^{(\omega)}$ 的情况下, C 进行 ω 类活动成功的次数 $Y \leq N_{\text{success}}^{(\omega)}$ 的概率, $Y \sim B(N_{\text{sum}}^{(\omega)}, T_{\text{DS}}^{(\omega)})$, 所以:

$$P_{\text{success}}^{(\omega)} = P_{T_{\text{DS}}^{(\omega)}}(Y \leq N_{\text{success}}^{(\omega)}) = \sum_{i=1}^{N_{\text{success}}^{(\omega)}} C_{N_{\text{sum}}^{(\omega)}}^{i} (T_{\text{DS}}^{(\omega)})^i (1 - T_{\text{DS}}^{(\omega)})^{(N_{\text{sum}}^{(\omega)} - i)} \quad (12)$$

利用假设检验的方法, 设置较低的检验水准为 ω , 对应获得数值较小的显著水平 δ , 当 $P_{\text{fail}}^{(\omega)} \leq \delta$ 时, 则认为客体 C 不可能以小于或等于 $\beta^{(\omega)}$ 的失败的概率来完成下一次 ω 类协作活动。当 $P_{\text{success}}^{(\omega)} > \delta$ 时, 则认为客体 C 不可能以大于或等于 $\beta^{(\omega)}$ 的概率来完成下一次 ω 类协作活动。所以设定:

$$P_{\text{success}}^{(\omega)} = P_{\text{fail}}^{(\omega)} \quad (13)$$

式(13)只有 $T_D^{(\omega)}$ 、 $\beta^{(\omega)}$ 两个未确定的变量, 根据上式, 可以令:

$$T_{\text{DS}}^{(\omega)} = \Phi(\beta^{(\omega)}) = \Psi(\alpha) = \alpha \cdot T_D^{(\omega)} + (1 - \alpha) \cdot T_I^{(\omega)} \Rightarrow \alpha = \Psi^{-1}(\Phi(\beta^{(\omega)})) \quad (14)$$

结合式(5), 可以获得 α 的表达式如下:

$$\alpha = \begin{cases} \Psi^{-1}(\Phi(\beta^{(\omega, \text{CASE5})})), & \text{CASE5} \\ \Psi^{-1}(\Phi(\beta^{(\omega, \text{CASE6})})), & \text{CASE6} \end{cases} \quad (15)$$

4 仿真实验及结果分析

NetLogo 是美国西北大学网络学习和计算机建模中心 (CCL) 推出的开放的多主体建模仿真集成环境, 它能够对自然系统和社会系统进行仿真, 尤其适合于随时间演变的复杂系统的建模和仿真。使用 NetLogo 平台对一个小规模环境中的信任关系演变进行仿真实验, 获得相应的直接信任值和间接信任值, 然后通过使用 Matlab 实现本文提出的信任融合模型, 获取相应的决策信任值。

文献[10]提供了一种实验环境、参数设置的方法。在该环境下, 每个 Agent 客体既可作为服务提供者 (Service Provider, SP), 也可以作为服务接收者 (Service Receiver, SR)。在本文的信任关系研究中, 可以认为系统中只存在一个 SP, 它为所有的 SR 提供服务, 即 SP 作为信任客体 C ; 而其他 Agent 客体作为 SR, 它们从 SP 接收服务, 其中存在一个特殊的 SR 记作 sr, 即 SR 作为推荐者 Bi, sr 作为信任主体 A 。

为了研究决策信任度的演变, 设置信任主体 (sr) 1 个, 信任客体 (SP) 1 个, 推荐者 (SR) 50 个, 信任客体的可信度为 0.636, 即信任客体以 0.636 的概率从事该项活动, 分别设置信誉值为 0.631 和 0.641。其中, 客体的信誉值是可信度的外在表现, 与可信度的差异较小。在一段时间内信任主体和推荐者都和信任客体进行交互, 这样根据交互结果和其自身判断每个客体都对信任客体的信任度有一个相应的感知。其中, 信任主体通过直接与信任客体进行交互所获感知为直接信任, 信任主体通过参考推荐者对信任客体的感知而获得的对信任主体的感知为间接信任。

在该设定下, 进行 1000 次仿真交互, 随着信任度的演化, CASE1—CASE6 6 种情况均被覆盖, 仿真结果如图 5 所示。

可见,本文提出的信任融合模型所得到的决策信任度的收敛速度明显快于直接信任度和间接信任度;而且本文模型针对不同的观测结果,能够给出动态的估计值,相比于信誉值,决策信任更能体现出主体与客体交互的实时性和动态性。

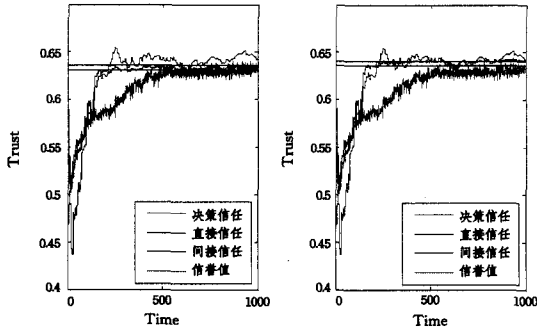


图5 仿真结果

因为客体进行协作成功的概率会被时间、交互的对象等多种因素影响,而信任体现的是一次交互行为中构成信任主体对于信任客体的实时主观的感知,所以将某一次交互后所得到的信任度与客体的可信度相比较以判断其精确性并非是合理的。本文采用多次连续交互活动所得的客体信任度与可信度差值平方的平均数来衡量信任度的精确性,结果如表1所列。

表1 客体信任度与可信度的偏差(*10⁵)

实验序列	直接信任	间接信任	决策信任 (re=0.631)	决策信任 (re=0.641)	信誉值
1—200	937.630220	664.992200	468.189549	466.198662	2.5
201—400	6.202022	119.222090	2.461293	1.337995	2.5
401—600	5.391490	12.105086	0.534372	1.838271	2.5
601—800	2.651097	6.279018	1.094805	1.676346	2.5
801—1000	9.134258	4.224327	0.602334	2.948530	2.5

由表1可以看出,与直接信任度和间接信任度相比,本文提出的信任融合模型所得到的决策信任度与客体可信度的差别较小。在1—200序列下,直接信任度、间接信任度和可信度的差异都比较大,此时决策信任度与可信度差异也比较大,这是由于其他客体对信任客体的认知不足造成的,不仅符合客观实际,也符合客体的主观心理。然而,当交互次数比较多,信任值的演化达到相对稳定状态后,由于综合考虑了直接信任度、间接信任度和信誉值及其关系,决策信任度的精确性往往大于信誉值,决策信任更能体现出主体与客体交互的准确性。使用本文信任融合模型,不仅准确度有了较大的提高,而且决策信任更能体现主体与客体交互的实时性、动态性,利用决策信任来对主体与客体之间的交互行为进行预测将更为精确。

5 结论

本文充分利用直接信任、间接信任和信誉值之间的关系,将直接信任、间接信任与信誉相融合。仿真实验结果表明,本文模型所得到的决策信任度能提高信任度评估的可靠性,从而能够对信任客体成功进行下一次交互活动的概率做出较为准确的预测。

进行信任融合的关键在于决策权重的取值,然而决策权重的取值受主体承担风险能力、自身偏好、外部环境等多种因素的影响。本文主要侧重于对决策权重进行定性分析,下一步工作的重点是对决策权重定量的研究,对本文模型进行进一步的完善。

结束语 面向决策的信任融合模型具有较好的实时性、动态性和精确性,它为主体评判是否与客体进行交互提供了一个科学有效且切实可行的方法。

参考文献

- [1] Abdul-Rahman A, Hailes S. A distributed trust model[C]//Proceedings of the 1997 Workshop on New Security Paradigms. ACM, 1998:48-60
- [2] Zacharia G, Maes P. Trust management through reputation mechanisms[J]. Applied Artificial Intelligence, 2000, 14(9): 881-907
- [3] Blaze M, Feigenbaum J, Lacy J. Decentralized trust management [C]//Proceedings of IEEE Symposium on Security and Privacy, 1996. IEEE, 1996:164-173
- [4] Blaze M, Feigenbaum J, Keromytis A D. KeyNote: Trust management for public-key infrastructures[M]//Security Protocols: 6th International Workshop Cambridge, UK, April 15-17, 1998 Proceedings. Springer Berlin Heidelberg, 1999:59-63
- [5] Li Ning-hui, Winsborough W H, Mitchell J C. Distributed credential chain discovery in trust management[J]. Journal of Computer Security, 2003, 11(1):35-86
- [6] 朱曼玲,金芝.一种服务 Agent 的可信性评估方法[J]. 软件学报, 2011, 22(11):2593-2609
Zhu Man-ling, Jin Zhi. Approach for evaluating the trustworthiness of service agent[J]. Journal of Software, 2011, 22(11): 2593-2609
- [7] Abdul-Rahman A, Hailes S. Supporting trust in virtual communities[C]//Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2000. IEEE, 2000:9
- [8] Gambetta D. Can we trust trust [M]// Trust: Making and breaking cooperative relations. 2000:213-237
- [9] Sun Yu-xing, Huang Song-hua, Chen Li-jun, et al. Bayesian Decision-Making Based Recommendation Trust Revision Model in AdHoc Networks[J]. Journal of Software, 2009, 20(9): 2574-2586
- [10] Liang Z, Shi W. Analysis of ratings on trust inference in open environments[J]. Performance Evaluation, 2008, 65(2):99-128
- [11] 徐锋,吕建,郑玮,等.一个软件服务协同中信任评估模型的设计[J]. 软件学报, 2003, 14(6):1043-1051
Xu Feng, Lv Jian, Zheng Wei, et al. Design of a trust valuation model in software service coordination[J]. Journal of Software, 2003, 14(6):1043-1051
- [12] 王远,吕建,徐锋,等.一个适用于网构软件的信任度量及演化模型[J]. 软件学报, 2006, 17(4):682-690
Wang Yuan, Lv Jian, Xu Feng, et al. A trust measurement and evolution model for internetware[J]. Journal of Software, 2006, 17(4):682-690