

文章编号:1007-5321(2013)01-0072-05

# 信任网络中基于角色信誉的信任预测

刘迎春<sup>1,2</sup>, 郑小林<sup>2</sup>, 陈德人<sup>2</sup>

(1. 浙江工业大学 教育科学与技术学院, 杭州 310023; 2. 浙江大学 计算机科学与技术学院, 杭州 310000)

**摘要:** 依据信任的认知特征,分析了信任 2 个维度对角色信任的不同贡献,给出了服务信任和推荐信任的定义和量化公式. 在信任网络中,分析了信任预测的 3 种情况及其社会网络特征,以代理的服务信誉为核心,设计了具有直接信任和传递信任的不同信任预测方案. 设计方案中综合考虑了交互次数、交互时间、角色信誉、服务信任和推荐信任对信任预测的影响. 最后的实验验证了角色信任的量化差异以及信任预测方法的有效性.

**关键词:** 信任预测; 角色信任; 信任网络; 信任传递

**中图分类号:** TP393

**文献标志码:** A

## Trust Predicting Using Roles-Based Reputation in Trust Network

LIU Ying-chun<sup>1,2</sup>, ZHENG Xiao-lin<sup>2</sup>, CHEN De-ren<sup>2</sup>

(1. College of Education and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China;

2. College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** Trust network is a social network and is constructed by trust relationships between agents. Different contributions devoted by two dimensions of trust are analyzed, and definitions of service trust and recommendation trust are given. The social characteristics of the trust network is studied and a trust prediction method based on agent's role-based trust and reputation is proposed. The influences of interactions number, time, reputation, service trust and recommendation trust are comprehensively considered which concord with the cognitive semantics of trust computing and propagation in trust network. The experiment verifies the differences of the role-based trust values and the effectiveness of trust prediction.

**Key words:** trust prediction; role-based trust; trust network; trust propagation

在基于云架构的务联网(internet of services)中,服务社区的代理之间以及代理与服务之间因为直接的服务交互而产生信任关系,构成以服务或代理为节点、信任关系为边的信任网络. 利用信任网络中的信任关系以及信任沿信任链的传递可以预测代理间的信任,从而寻找可信的服务或合作伙伴.

信任的预测往往基于服务交互的历史数据和行为. 在有直接交互的代理间,常使用直接信任来预

测未来服务交互的可信状况;对于没有或缺少直接交互的服务或服务代理,基于社会网络的好友推荐是一种常用的方法<sup>[1-2]</sup>;对于既没有直接交互又缺少间接推荐的代理间,可以使用信誉来预测信任<sup>[3-4]</sup>,此时,被征信代理的信誉在信任预测中起关键作用.

从信任认知特点角度,提出一种综合服务交互人信誉和不同代理角色信任的信任预测方法. 该方法能反映代理的不同角色的信任和信誉,以及信任网络中社会网络关系在信任预测中的作用.

## 1 基于角色的信任系统

### 1.1 信任以及基于角色的信任

信任是信任者关于受信者在某个指定上下文的能力、诚实、安全、可靠性的一种量化信仰<sup>[5]</sup>. 服务代理间的信任主要由提供服务的能力以及完成服务合作的诚信度或可靠性来体现<sup>[4]</sup>; 代理的服务能力可由信任管理系统依据服务使用者的感知和评价获得; 代理的诚信度由信任管理系统依据该代理承诺和提供服务的符合程度、失败交易的比例等指标综合获得.

**定义1** 信任 服务网络中的信任是一个代理对另一个代理的服务能力、诚信程度的感知和综合信念. 信任可由服务能力、诚信度2个维度来表达, 是这2个维度数据的综合, 即

$$T = \omega_1 Q + \omega_2 R, \quad \omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (1)$$

其中:  $Q$  和  $R$  分别为服务交互感知的服务能力和诚信度的评分值,  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  为相应的权值.

**定义2** 服务信任. 服务信任是当被征信代理作为服务提供者时, 请求者感知和计算的、重点体现提供者服务能力的信任程度, 可表示为

$$S = \begin{cases} 0 & R < \theta \\ \omega_1 Q + \omega_2 R, \omega_1 > \omega_2 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $\theta$  为最低诚信度阈值.

**定义3** 推荐信任. 推荐信任是当被征信代理作为服务推荐者时, 请求者感知和计算的、重点体现推荐者诚信度的信任程度, 可表示为

$$H = \begin{cases} 0, & Q < \theta \\ \omega_1 Q + \omega_2 R, \omega_1 < \omega_2, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中  $\theta$  为最低服务能力阈值.

当代理作为服务提供者或作为推荐好友不同的角色时, 即使具有相同的  $Q$  值和  $R$  值, 其可信任程度也不相同, 即  $S \neq H$ .

### 1.2 交互代理间的信任

两交互代理间不断的服务交互使其信任度不断变化. 信任度由交互次数多少、时间远近、评分大小等因素决定. 假设在给定时间窗口  $M$  内, 代理  $A$  和代理  $B$  进行了  $n$  次服务交互, 第  $\rho$  次获得的信任度为  $T^{(\rho)}$ , 则当前时刻  $t$ ,  $A$  对  $B$  的信任度为

$$T_{A \rightarrow B} = \left[ \sigma + \sum_{\rho \in [1, n]} \frac{T^{(\rho)} F(\rho)}{\tau}, 10 \right] \vee \left[ 0, \sigma + \sum_{\rho \in [1, n]} \frac{T^{(\rho)} F(\rho)}{\tau} \right] \quad (4)$$

其中:  $\tau$  为规约因子, 把信任度值规约到  $[0, 10]$ ,  $F(\rho) = d(\rho) / \sum_{\rho \in [1, n]} d(\rho)$  为第  $\rho$  次交互的时间权重函数 (其中  $d(\rho) = e^{-\eta(t-t(\rho))}$  为时间延迟因子),  $t$  为当前时间;  $t(\rho)$  为第  $\rho$  次交互的时间,  $\sigma = \Gamma(n/\bar{n})$  为与交互次数相关的限制因子, 表示交互次数对信任值的影响 (其中  $\bar{n}$  为服务社区中代理间平均交互次数或系统指定的次数阈值).

当把  $T^{(\rho)}$  改为  $S^{(\rho)}$  或  $H^{(\rho)}$  时, 可以获得两代理间的服务信任  $S_{A \rightarrow B}$  或推荐信任  $H_{A \rightarrow B}$ .

## 2 信任网络

### 2.1 信任网络模型

在服务网络中, 服务请求者在体验服务提供者提供的服务后, 基于服务感受, 对服务提供者进行信任评价. 通过这些评价, 可以获得 (或通过必要的算法计算出) 基于某个服务内容 (如关于数据存储技术的答疑服务) 的服务提供者的服务能力和诚信度, 可以数据表的形式存储.

在给定时间窗口  $M$  内, 服务网络中的代理不断交互, 产生的信任关系以及信任度都在动态变化, 最终演化成为以服务代理为节点、信任关系为边的信任网络, 如图1所示.

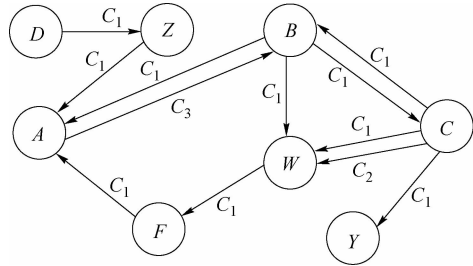


图1 信任网络模型

图1所示的信任网络可表示为有向图  $G = (N, E)$ , 其中节点  $N$  是代理的集合, 有向边  $E$  是信任关系的集合. 信任关系从一个代理  $A$  指向另一个代理  $B$ , 表示  $A$  在某个服务内容  $C_i$  上对  $B$  信任. 因此,  $A$  对  $B$  在服务内容  $C_i$  上的信任关系可表示为

$$T_{A \rightarrow B}^{C_i} = \{ (A, B, C_i, (T_{A \rightarrow B}^{C_i}, S_{A \rightarrow B}^{C_i}, H_{A \rightarrow B}^{C_i})) \}$$

其中:  $A, B \in N; A \neq B; C_i \in C; T_{A \rightarrow B}^{C_i}, S_{A \rightarrow B}^{C_i}, H_{A \rightarrow B}^{C_i} \in [0, 10]$ .  $T_{A \rightarrow B}^{C_i}, S_{A \rightarrow B}^{C_i}, H_{A \rightarrow B}^{C_i}$  分别表示代理  $A$  对代理  $B$  在服务内容  $C_i$  上的信任、服务信任和推荐信任, 它们由式(1)~式(4)运算得出.

### 2.2 信任网络的社会网络属性

服务网络及其中因信任关系产生的信任网络都

是一种典型的复杂网络,信任网络中的一些社会网络性质,影响着信任的预测。

1) 节点的入度:入度相对较大的节点,表示该代理被较多代理信任,隐含在相应服务内容服务方面的信誉较高,具有较高权威。

2) 节点的出度:出度表示代理有多少可信任的“好友”,出度的大小反映了代理可以选择的具有直接信任的服务提供者或推荐者的数量多少。

3) 节点的连通:节点间以信任关系相连,通过“好友”以及“好友”的“好友”,信任沿着信任关系组成的信任链传递,节点通过信任链而连通。信任网络是一个小世界网络,依据六度空间理论,信任网络中的节点可以全连通。

### 3 基于信任网络的信任预测

#### 3.1 基于角色的信誉与信任计算

依据请求者指定的服务内容  $C_i$ , 可获得相应的信任网络子图。图1中的每个曾经提供过  $C_i$  服务的节点都具有一定的服务信誉,其信誉与该节点的信任关系相关:信任关系的服务信任越大,信任关系的数量越多,节点的信誉越高。

**定义4** 服务信誉 节点(代理)提供服务内容  $C_i$  的服务信誉是其所有相关入度节点(代理)对其直接服务信任的聚合。

在图1的信任网络图中,节点  $A$  的入度为  $\lambda$ ,其中第  $j$  个代理对  $A$  的服务信任记为  $S_j$ 。则  $A$  在服务网络中提供服务内容  $C_i$  的服务信誉  $R_A^{C_i}$  定义为

$$R_A^{C_i} = \left[ \sigma + \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^{\lambda} S_{N_j \rightarrow A}^{C_i}, 10 \right] \vee \left[ 0, \sigma + \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^{\lambda} S_{N_j \rightarrow A}^{C_i} \right] \quad (5)$$

其中:  $\sigma = \Gamma(\lambda/\bar{\lambda})$  为一个与入度相关的限制因子,  $\bar{\lambda}$  为服务社区中代理的平均入度(或系统指定的入度阈值),  $R_A^{C_i} \in [0, 10]$ 。

**定义5** 直接信任 信任网络中,两节点若存在有向边相连,则它们具有直接信任。直接信任依据请求代理节点的不同需求(请求服务或请求推荐),分为直接服务信任  $S$  和直接推荐信任  $H$ 。

**定义6** 间接信任 信任网络中,两节点没有直接信任,但是连通的,则它们之间具有间接信任。

间接信任的理论和技術基础是信任的传递和聚合,并已有较多的研究成果<sup>[1-2,6]</sup>。Young等<sup>[6]</sup>就信任传递计算的不同策略进行了实验比较。依据其结论

以及基于计算量的考虑,采用最短路径上的加权平均方法来传递和聚合信任,并在信任传递和聚合时,依据信任链上节点的不同角色,使用相应的服务信任和推荐信任。

在图1中,  $(C, B, A)$ 、 $(C, B, W, F, A)$  和  $(C, W, F, A)$  是3条从  $C$  到  $A$  的信任链。其中:  $B$  和  $W$  是  $C$  的“好友”,称为请求节点  $C$  的“出邻节点”;  $B$  和  $F$  直接信任  $A$ ,称为被征信节点  $A$  的“入邻节点”。

在某条信任链中,从  $C$  到  $A$  所经过的节点对  $C$  来说是推荐者,而  $C$  请求和评估的是  $A$  的服务信任。因此,从  $C$  到  $A$  的某个入邻节点之间的信任关系是推荐信任关系,从入邻节点到被征信节点  $A$  之间的关系是服务信任关系。设  $N_i$  是  $A$  的一个入邻节点,则

$$O_{C \rightarrow N_i} = \frac{\sum_{N_j \in \text{的出邻节点}} (H_{C \rightarrow N_j} O_{N_j \rightarrow N_i}) / 10}{\sum_{N_j \in \text{的出邻节点}} H_{C \rightarrow N_j}}$$

其中  $O_{C \rightarrow N_i}$  为某个信任链中从请求节点  $C$  到被征信节点  $A$  的一个入邻节点的推荐信任。最后,把多个信任链的推荐信任和服务信任加权平均获得  $C$  对  $A$  的传递信任:

$$S_{C \rightarrow A}^t = \frac{\sum_{N_i \in A \text{ 的入邻节点}} (O_{C \rightarrow N_i} S_{N_i \rightarrow A}) / 10}{\sum_{N_i \in A \text{ 的入邻节点}} O_{C \rightarrow N_i}} \quad (6)$$

其中  $S_{N_i \rightarrow A}$  是节点  $A$  的入邻节点对  $A$  的服务信任。

#### 3.2 信任预测

在图1所示的信任网络中,请求代理  $C$  对其他代理的信任预测受当时信任网络的社会网络关系的影响,一般可分为3种情况,如图2所示。

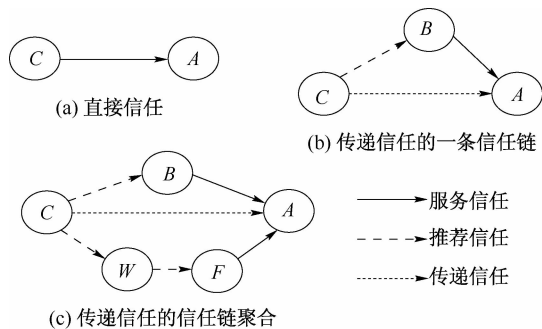


图2 具有直接信任或间接信任的信任预测节点模型

1) 当被征信代理  $A$  与请求者  $C$  具有直接信任(如图2(a)所示)时,可由  $A$ 、 $C$  之间的直接服务信任  $S_{C \rightarrow A}$  以及  $A$  的服务信誉来共同预测  $A$  的服务信任值,即

$$P_{C \rightarrow A} = \frac{1}{2}(R_A + S_{C \rightarrow A}) \quad (7)$$

2) 当被征信代理  $A$  与请求者  $C$  没有直接信任, 但  $A$  和  $C$  连通(如图 2(b)、(c)所示)时,  $C$ 、 $A$  之间具有传递(间接)信任. 由  $A$  的服务信誉以及  $C$  对  $A$  的传递信任, 可以为  $C$  预测  $A$  的服务信任值, 即

$$P_{C \rightarrow A} = \frac{1}{2}(R_A + S'_{C \rightarrow A}) \quad (8)$$

3) 当被征信代理  $A$  与请求者  $C$  没有直接信任, 也没有间接信任时, 被征信代理  $A$  对请求者  $C$  来说是完全的“陌生人”, 信任预测主要依赖  $A$  的信誉. 即

$$P_{C \rightarrow A} = \varphi R_A \quad (9)$$

其中  $\varphi \in (0, 1]$  为反映服务社区总体信誉的指数.

## 4 实验设计与验证

### 4.1 角色信任的认知差异与特性

信任是一种意念或观点, 具有较强的主观性. 利用随机数(0~10 的整数)产生 1 000 组信任评价数据(服务能力, 诚信度), 分别按式(1)、式(2)、式(3)算出每组的  $T$ 、 $S$  和  $H$ . 其中: 式(2)中  $\theta = 3$ ,  $(\omega_1, \omega_2) = (0.7, 0.3)$ ; 式(3)中  $\theta' = 2$ ,  $(\omega_1, \omega_2) = (0.2, 0.8)$ . 得出的 3 个值作为 3 个候选选项, 采用问卷法验证服务信任和推荐信任是否具有认知差异. 在回收的 52 份有效问卷中, 约有 66.7% 的组选中的是由  $S$  或  $H$  计算出的候选选项, 约有 96.3% 的组选择不同数据的  $S$  和  $H$ . 此实验表明, 服务能力和诚信度 2 个信任维度对不同角色的信任影响是不同的, 服务信任和推荐信任具有较明显的认知差别.

分析角色信任数据, 采用图示分析法获得角色信任的特性, 如图 3 所示. 在诚信度/能力小于 1 的区域, 服务信任明显高于信任均值( $>6$ ), 但当诚信度小于某个阈值(如  $<3$ )时, 即使能力值较大( $>9$ ), 服务信任却为最小值. 在诚信度/能力  $>1$  的区域, 服务信任逐渐低于信任均值, 这主要源于能力值的下降; 而推荐信任逐渐大于信任均值, 原因是诚信度  $>6$  并逐步的提高. 由此可见, 角色信任值随着诚信度、能力 2 个信任维度的不同占比有较明显的变化.

### 4.2 基于角色信任的信任预测的有效性

构建具有 60 个节点的信任网络, 分别以 0~59 进行编号, 并由交互数据生成节点间的信任关系. 为

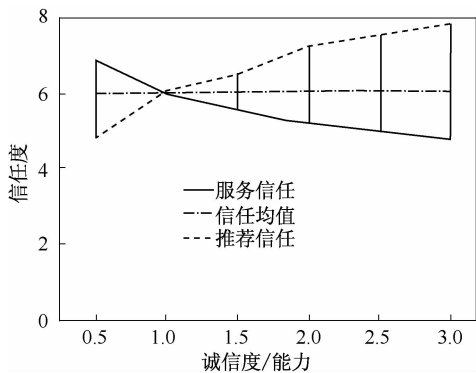


图 3 角色信任值的对比

了实验结果的可比性, 筛选并只保留信任值  $T \in [5, 6.5]$  的信任关系, 并且有 20% 的信任关系中  $S = 0$  或  $H = 0$ . 式(1)~式(5)中的相关参数为  $\theta = 3, \theta' = 2, \sigma = \Gamma\left(\frac{x}{\bar{x}}\right)\begin{cases} -1/x & x < \bar{x} \\ (x - \bar{x})/2\bar{x} & x \geq \bar{x} \end{cases}, \bar{n} = 2.5, \bar{\lambda} = 3$

从指定节点(请求节点)出发, 分别使用基于角色的信任预测方法(RBTP, role-based trust prediction)以及把 RBTP 方法中角色信任换成式(1)的信任均值的方法(ATTP, trust prediction with average trust values)预测指定 15~20 个节点(征信节点)的信任预测值  $P$ , 分别获得  $P$  排名最高的 5 或 10 个节点数据. 从不同的请求节点出发, 进行 10 组实验. 图 4、图 5 分别为 2 种方法预测获得的信任排名的命中个数对比.

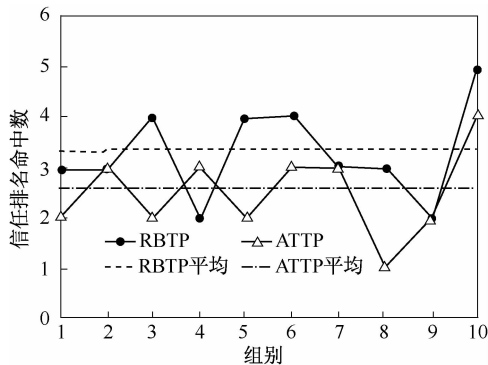


图 4 排名前 5 的命中个数对比

分析上述数据得出, RBTP 方法预测信任得到的排名命中率大于 ATTP 方法. 可见, 在信任值可比( $T \in [5, 6.5]$ )并具有一定比例信任角色恶意(信任均值一致而  $S$  或  $H$  为 0)或差异(信任均值一致而  $S$  与  $H$  有一定差异)的情况下, 使用角色信任的 RBTP 方法具有更好的准确性.

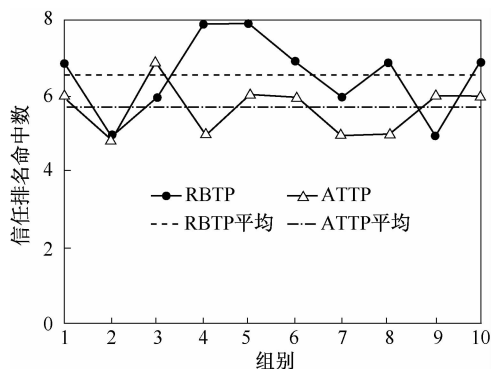


图5 排名前10的命中个数对比

## 5 结束语

服务社区中的服务代理动态扮演不同的服务角色.从表示信任的能力、诚信2个维度出发,定义了代理作为服务提供者和服务推荐者时不同的角色信任并给出基于角色信任和信誉的信任预测方法.该方法符合信任和信任传递的认知语义,能一定程度上提高信任预测的准确性.

### 参考文献:

(上接第62页)

- [3] Jaewon Y, Jure L. Modeling information diffusion in implicit networks[C]//2010 IEEE International Conference on Data Mining. Vancouver: IEEE Press, 2011: 599-608.
- [4] Lawson C L, Hanson R J. Solving least squares problems[M]. 3rd ed. New Jersey: Soc for Industrial & Applied Math, 1995: 46-49.
- [5] Wu Fang, Huberman B A. Novelty and collective attention[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2007, 104(45): 17599-17601.

- [1] Jang A, Gray E, Kinatader M. Simplification and analysis of transitive trust networks[J]. Web Intelligence and Agent System, 2006, 4(2): 139-161.
- [2] 代战锋,温巧燕,李小标. P2P网络环境下的推荐信任模型方案[J]. 北京邮电大学学报, 2009, 32(3): 69-72.  
Dai Zhanfeng, Wen Qiaoyan, Li Xiaobiao. Recommendation trust model schema for P2P network environment[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009, 32(3): 69-72.
- [3] Yan Surong, Zheng Xiaolin, Chen Deren, et al. User-centric trust and reputation model for personal and trusted service selection[J], International Journal of Intelligent Systems, 2011, 26(8): 687-717.
- [4] Domenico Rosaci. Trust measures for competitive agents[J]. Knowledge-based Systems, 2012, 28(4): 38-46.
- [5] Grandison T, Sloman M. Trust management tools for internet applications[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Trust Management. [S.l.]: Springer, 2003: 91-107.
- [6] Young A K, Hee S S. Strategies for predicting local trust based on trust propagation in social networks[J]. Knowledge-based Systems, 2011, 24(8): 1360-1371.

- [6] Leskovec J, Backstrom L, Kleinberg J. Meme-tracking and the dynamics of the news cycle[C]// the 15<sup>th</sup> ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Paris: ACM Press, 2009: 9-21.
- [7] 博克斯,詹金斯,莱茵泽尔. 时间序列分析预测与控制[M]. 王成章,尤梅芳,郝杨,译. 4版.北京:机械工业出版社,2011: 313-318.