

# 评价离散度敏感的P2P交易系统信任模型

陈爱国, 徐国爱, 杨义先

(1. 电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 611731; 2. 北京邮电大学灾备技术国家工程实验室 北京 海淀区 100876;  
3. 北京邮电大学信息安全中心 北京 海淀区 100876)

**【摘要】**提出了一种评价离散度敏感的P2P电子交易系统信任模型,该模型引入了基于推荐节点数量和推荐信息离散程度的全局声誉信度概念,以及直接声誉的相对信度概念,并给出了基于信度的信任度计算方法。通过仿真实验和分析,验证了该信任模型的有效性和抗恶意节点能力。与EigenRep进行比较,表明该文模型在抗恶意节点攻击能力上有了显著提高。

**关键词** P2P网络; 信任; 信任模型; 电子交易; 网络安全

**中图分类号** TP393.07

**文献标识码** A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.03.022

## A Rating Dispersion Sensitive Trust Model for P2P Transactions

CHEN Ai-guo, XU Guo-ai, and YANG Yi-xian

(1. School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731;  
2. National Engineering Laboratory for Disaster Backup and Recovery, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876;  
3. Information Security Center, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876)

**Abstract** For the openness, anonymity, and dynamic characters in P2P systems, participants lack trust relationship inference each other in P2P e-commerce communities. A rating dispersion sensitive trust model for P2P transactions is presented. The credibility of global reputation and direct reputation is introduced. The credibility of global reputation is calculated from the recommended peers' number and recommended rating's dispersion. The validity and anti-attack ability are proved by the simulation and analysis. The results of the experiments are compared with EigenRep and shows the sound performance of the model.

**Key words** P2P networks; trust; trust model; electronic commerce; network security

由于P2P电子交易模式交互便捷,计算成本低,且具备匿名性、可扩展性、负载均衡性和容错性等特点,在文件共享<sup>[1]</sup>和电子商务(如eBay)等领域得到了广泛应用。但由于P2P系统对节点缺乏约束机制,节点间缺乏信任,成为制约P2P电子交易进一步发展的关键因素。因此,需要建立有效的信任机制帮助用户确定交易对象,减少恶意节点对P2P电子交易系统的威胁,保障交易系统的网络安全。

本文结合现有信任模型的优点和不足,提出了一种新的P2P交易系统信任模型,并首次提出基于推荐节点数量和推荐信息离散度的全局声誉信度以及直接声誉相对信度,作为计算信任度的权重。该方法提高了信任模型的准确性和抗恶意节点能力。

### 1 相关工作

P2P环境信任模型通过收集和传播节点间历史交易信息(反馈/评价)建立节点的声誉度量。按照声

誉计算信息的来源范围和信任决策方式的不同,P2P环境下的信任模型可以分为局部信任模型和全局信任模型。局部信任模型中,间接信任度量由使用节点主动查询并计算。而在全局信任模型中,间接信任度量由信任管理节点统一计算并共享给网络中其他节点。具体模型如下。

(1) 局部信任模型:交易发起节点依据直接交易记录计算直接信任度,或进一步通过查询交易节点与其他部分节点的有限交易历史信息,计算间接信任度量,然后综合以上信任度量进行信任决策<sup>[3-4]</sup>。在局部信任模型中,新节点或参与交易较少的节点的直接交易历史缺乏,且对于查询得到的间接评价的可信程度缺乏评价依据,因此存在评价信息量不足的缺点。

(2) 全局信任模型:融合所有交易节点的评价信息,为每个节点计算出唯一的全局信任度。节点可以直接使用全局信任进行决策,也可以综合使用全

收稿日期:2008-11-12; 修回日期:2009-06-18

基金项目:国家973计划(2007CB310704); 国家863计划(2009AA01Z439); NSFC-广东联合基金(U0835001)

作者简介:陈爱国(1981-),男,博士,主要从事网络与信息安全方面的研究。

局信任度和直接信任度进行决策。文献[5]和[6]提出了基于矩阵迭代求解的全局信任模型,但任意节点间的每一次交易都会引起所有节点全局声誉度的变化,并且迭代计算每次只能在一个节点上完成,算法的消息复杂度大。PeerTrust模型<sup>[7]</sup>考虑的因素较全面,但没有给出具体因素的刻画方法。文献[8]全面分析了P2P电子商务中的信任度量因素,提出了一种新的信任评价的可信度度量方法。

上述研究工作对声誉的度量因素有全面的研究,并对信息融合的权重计算提出了多种算法,但没有考虑推荐节点数量和推荐信息的离散程度对信任度量的影响。

## 2 模型算法

本文模型中,首先根据节点交易评价建立该节点对其他节点的直接声誉;然后获取与该节点交易过的其他节点对它的直接声誉,计算出该节点的全局声誉值,并将全局声誉值共享给其他节点;最后综合使用直接声誉和全局声誉建立节点间的信任关系。用0~+1之间的实数度量节点的声誉值,其中0表示不信任,1表示绝对信任,0.5表示未知。为了保证信任模型能够有效建立并运行,假设新加入网络的节点通过货币化的方式获得相应数量的初始全局声誉。

### 2.1 直接声誉

**定义 1** 设  $D_{ij}$  表示节点  $i$  对节点  $j$  的直接声誉,该度量来自于节点  $i$  与节点  $j$  的直接交易经验。在电子交易环境中,影响直接声誉度量的因素包括交易评价、交易金额和交易时间等。

(1) 交易评价。交易完成后,交易发起方(initiator)对服务质量(包括价格、发货速度和商品质量等)的主观满意程度进行评价。为了使信任模型具有更好的普适性,需要对实际评价进行一致化处理,  $s_{ij}^*$  为实际评价,一致化函数为:

$$s_{ij} = \frac{s_{ij}^* - a}{b - a} \quad (1)$$

式中  $a$  和  $b$  分别为实际评价系统中的最小值和最大值,可以保证模型中交易评价在 0~+1 之间。相对于文献[6]中将负值评价全部归为 0 的方法,提高了准确性。

(2) 交易金额。融合所有交易评价计算直接声誉时,交易金额越大,对应的交易评价越重要。

(3) 交易时间。交易评价的重要性和可信性会随着时间而衰减,一般用指数函数刻画时间的衰减影

响<sup>[9]</sup>。本文定义时间衰减函数为:

$$\tau(t_k) = k_0 e^{-k_1(t_k - t_c)} \quad k_0 > 0; k_1 > 0 \quad (2)$$

式中  $t_k$  为交易时间;  $t_c$  为当前基准时间;  $k_0$  和  $k_1$  为经验系数,可以根据具体的应用环境调整。

如果节点  $i$  与节点  $j$  在时间窗  $W_t \rightarrow [t_{\text{start}}, t_{\text{end}}]$  内有  $n$  次直接交易,则在时间窗  $W_t$  内,节点  $i$  对节点  $j$  的直接声誉:

$$D_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n s_{ij}(k) \cdot \delta(k) \cdot \tau(t_k)}{\sum_{k=1}^n \delta(k) \cdot \tau(t_k)} \quad (3)$$

式中  $s_{ij}(k)$  为第  $k$  次交易后节点  $i$  对节点  $j$  的原始评价  $s_{ij}^*(k)$  用式(1)归一化以后的标准评价;  $\delta(k)$  为第  $k$  次交易的交易金额,  $\tau(t_k)$  为第  $k$  次交易评价的时间衰减因子,同式(2)。

对于节点  $i$  来说,  $\{D_{ij} | n_{ij} > 0\}$  之间的交易总金额不同,直接声誉之间的可信程度是有区别的。在有效时间窗内,与其交易金额最大节点的直接声誉最可信。因此,可定义直接声誉的相对信度。

**定义 2** 设  $\gamma_{ij}$  表示节点  $i$  对节点  $j$  的直接声誉  $D_{ij}$  的相对信度,计算公式为:

$$\gamma_{ij} = \frac{m_{ij}}{M} \quad (4)$$

式中  $m_{ij}$  为节点  $i$  与节点  $j$  的累计交易额;  $M$  为节点  $i$  的邻居节点中交易总金额最大值,即  $M = \max\{m_{ij} | j \text{ 是 } i \text{ 的邻居节点, 且 } n_{ij} > 0\}$ 。文献[8]给出了相似的度量;但其同时考虑了交易次数,存在安全漏洞,攻击者可以通过使用多次小额交易,达到利益均衡。

### 2.2 全局声誉

**定义 3** 设  $R_j$  表示节点  $j$  的全局声誉度,该度量融合系统中所有与  $j$  有过交易的节点对  $j$  的推荐声誉,计算公式为:

$$R_j = \frac{\sum_{i \in A} D_{ij} \varphi_{ij} R_i \xi_i}{\sum_{j \in A} \varphi_{ij} R_i \xi_i} \quad (5)$$

式中  $\varphi_{ij} R_i \xi_i \square w_{ij}$  为节点  $i$  对节点  $j$  推荐声誉的融合权重;  $\varphi_{ij}$  为累积的交易金额;  $R_i$  为推荐节点  $i$  的当前全局声誉值;  $\xi_i$  为全局声誉  $R_i$  的信度。

**定义 4** 设  $\xi_i$  表示节点  $i$  的全局声誉信度,矫正函数依据推荐节点的数量以及推荐声誉的离散程度计算得到,具体过程如下。

(1) 推荐节点数量。设  $A_i$  为对节点  $i$  的推荐节点

集合,  $|A_i|$  为推荐节点数量。对于全局声誉来说, 推荐节点的数量越多, 全局信任度的可信性程度越高。本方案用S型特征函数度量推荐节点数的影响, 计算公式为:

$$\eta_i = \begin{cases} \left(\frac{|A_i|}{k_2}\right)^2 & 0 < |A_i| \leq k_2; k_2 \in N \text{ 且 } k_2 < |B| \\ 1 & k_2 < |A_i| \leq |B| \end{cases} \quad (6)$$

式中  $k_2$  为经验值, 根据网络规模和网络中多数节点的交易对象数量确定;  $|B|$  为网络中总的交易节点数量。当推荐节点在  $(0, k_2]$  区间时, 度量值随推荐节点数的增加单调递增。

(2) 推荐信息的离散度。所有推荐信任度的离散程度越小, 说明网络中其他节点对被评价节点的评价越一致, 全局声誉的可信度越高; 相反, 全局声誉度的可信程度就越小。用推荐信息的标准差度量推荐信息的离散程度, 则节点  $i$  的推荐信息分散程度度量为:

$$\sigma_i = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{j \in A} (D_{ji} - E(D_{ji}))^2}{|A| - 1}} & |A| > 1 \\ 0 & |A| = 1 \end{cases} \quad (7)$$

式中  $E(D_{ji})$  表示推荐信息的均值, 即:

$$E(D_{ji}) = \frac{\sum_{j \in A} D_{ji}}{|A|} \quad (8)$$

则节点  $i$  的全局声誉的信度为:

$$\xi_i = \eta_i (1 - \sigma_i) \quad (9)$$

对于新节点, 由于没有推荐节点, 运算时可以指定初始信度  $\xi_i^0 \in (0, \xi_i^1]$ 。

### 2.3 信任度

在实际的社会关系中, 对某人的信任包括直接交互形成的信任关系和社会对该人的评价形成的信任关系。因此, 本文方案定义由直接声誉和全局声誉计算得到的信任度作为决策的最后依据。

**定义 5** 设  $T_{ij}$  表示节点  $i$  对节点  $j$  的信任度, 融合节点  $i$  对节点  $j$  的直接声誉度和节点  $j$  的全局声誉度计算得到:

$$T_{ij} = \frac{\gamma_{ij}}{\gamma_{ij} + \xi_j} D_{ij} + \frac{\xi_j}{\gamma_{ij} + \xi_j} R_j \quad (10)$$

式中  $\gamma_{ij}/(\gamma_{ij} + \xi_j)$  和  $\xi_j/(\gamma_{ij} + \xi_j)$  分别是直接声誉和全局声誉的归一化权因子。当节点  $i$  对节点  $j$  的局部交易一定时, 节点  $j$  全局声誉的置信度  $\xi_j$  越大, 全局声誉对信任决策的影响也越大; 相反, 则影响越小。

## 3 分析与仿真

### 3.1 性能分析

本文的信任模型综合使用直接声誉  $D_{ij}$  和全局声誉  $R_j$  求出信任度  $T_{ij}$  进行信任决策。如果将全局声誉作为间接信任度量, 网络中需要求出一个全局声誉信度并共享给其他节点, 相对于局部信任模型, 减少了节点间接信任度量的计算量。并且, 采用  $D_{ij}$  和  $R_j$  进行信任决策, 更加符合传统信任的内涵。

本文引入直接声誉的信度  $\gamma_{ij}$ 、基于推荐信息离散度和推荐节点数量的全局声誉信度  $\xi_i$ , 并将信度作为信任度计算时的置信因子, 如式(10)。所以模型具有评价离散度敏感的特性, 提高了抗攻击能力。

直接声誉的信度反映了同一节点的所有直接声誉的相对可信程度。由于在计算直接声誉时考虑了时间衰减因子  $\tau(t_k)$  和每笔交易的金额  $\delta(k)$  属性, 在信任决策时, 需要对潜在交易对象的直接声誉进行横向对比。假设直接声誉相同的情况下, 交易总额度越多的节点, 其直接声誉的可信度相对较高。因此, 本文提出基于总交易量的直接声誉信度, 可以提高基于直接声誉判断的准确性。

全局声誉的信度综合考虑了推荐节点的数量和推荐信息的离散度, 如式(9)。推荐节点越多, 推荐信息离散度越小, 则全局声誉的信度越高。如果网络中存在恶意节点, 会使网络中诚实节点的全局声誉信度受到影响而变低。由于采用直接声誉和全局声誉信度作为决策信任度融合时的置信因子, 当网络中存在恶意节点, 造成全局声誉信度变低, 在计算交易决策信任度时, 会更加依赖直接声誉值, 从而提高交易的成功率。文献[10]的研究表明实际的P2P系统中恶意节点还是只占少数比例, 因此本文的方案能够有效地应用于P2P电子交易。

### 3.2 对比仿真

为检验模型的有效性及其在抑制恶意节点的策略性欺骗和不诚实推荐方面的性能, 本节构造了仿真实验, 并选择典型的全局信任模型EigenRep<sup>[5]</sup>作为参照, 对比两种模型在对抗恶意节点方面的性能。

设网络中的节点分为诚实节点和恶意节点两类。诚实节点一直提供真实的交易, 并给出诚实的交易评价。恶意节点包括策略欺骗节点和共谋节点。策略欺骗节点随机地提供真实服务, 并在其他时候提供虚假服务, 但其提供的交易评价是真实的。共谋节点指一定数量的节点组成共谋组, 除了如策略欺骗节点一样随机地提供真实服务外, 共谋节点在

组内相互地给出高的评价,而对组外节点进行诋毁。仿真中对成功交易的评价取值为0.95;交易失败的评价取值为0.05。节点初始的全局声誉 $\xi^0 = \xi^1 = (1/k_2)^2$ 。

### 3.2.1 有效性仿真

通过仿真各类节点的全局声誉及其信度随交易数量增加的变化,考察模型的正确性。设网络中的诚实节点、策略欺骗节点和共谋节点的比例为1:1:1,除共谋恶意节点在组内相互抬高评价外,所有节点都提供真实的交易评价。其中策略欺骗节点和共谋恶意节点提供真实服务的概率都为0.6。3类节点的全局声誉随交易次数的变化如图1所示。设式(6)中参数 $k_2 = 5$ ,全局声誉的信度变化如图2所示。

从图1中可以看出,由于诚实节点一直提供真实的服务,其全局声誉由初始的0.5很快稳定在0.95左右;由于共谋节点的相互抬高评价,因此共谋节点的全局声誉要高于策略欺骗节点。

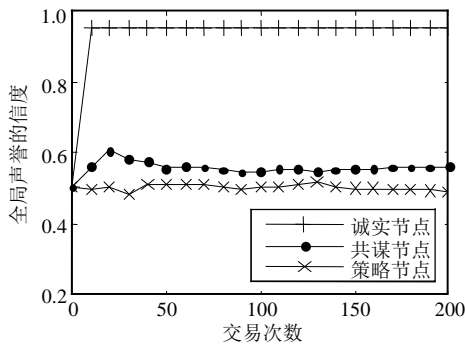


图1 全局声誉变化趋势

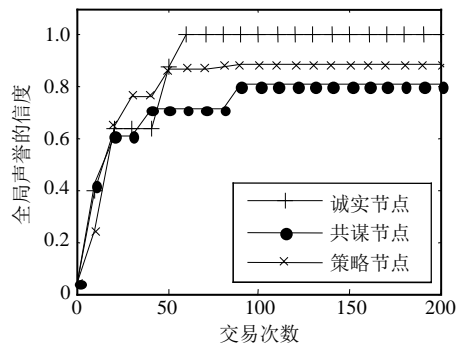


图2 全局声誉信度的变化

图2的结果表明,诚实节点的评分离散度最小,随着交易次数的增加,推荐节点数量逐渐增加,全局声誉的信度为1;策略欺骗节点和共谋节点由于会提供虚假交易,造成评分离散度较大,因此全局声誉的信度较小。

### 3.2.2 抗策略欺骗仿真

假设策略欺骗节点存在并以0.5的概率提供虚

假交易,考察信任模型的交易成功率。仿真策略欺骗节点规模从10%到70%变化时,本文的模型与EigenRep的交易成功率对比如图3所示。

可以看出,本文的模型具有较好的抗策略欺骗攻击能力,在策略欺骗规模小于70%的情况下,交易成功率保持在95%以上;且在所有的情况下,都表现出比EigenRep高的抗策略欺骗节点的能力。

### 3.2.3 抗共谋节点仿真

共谋节点对内相互夸大评分,对外则贬低评分,其攻击的危害要大于策略欺骗节点。交易系统中存在不同规模的共谋节点时,本文模型与EigenRep模型的交易成功率对比如图4所示。

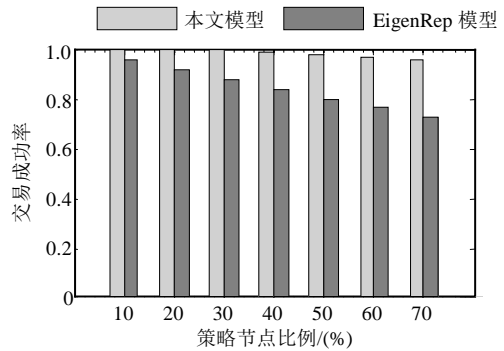


图3 不同规模策略欺骗节点下的交易成功率

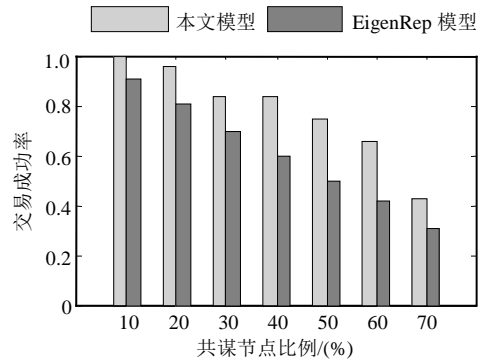


图4 不同规模共谋节点下的交易成功率

当共谋节点规模为40%时,本文模型的成功率保持在80%以上,而EigenRep体现了较差的抗共谋节点攻击能力。在本文的方案中,当共谋节点比例增加时,各类节点的全局声誉的信度都较低(诚实节点收到恶意节点的贬低评分,恶意节点为了欺骗获利,提供虚假服务时得到较低的评分),因此在使用式(10)计算信任度时,全局声誉所占的比重相对较小,节点更多依靠直接声誉进行决策,因此体现了较高的抗攻击性;而EigenRep仅依据全局声誉进行决策,当恶意节点比例较高时,基于迭代算法计算的全局声誉已经不能体现节点的实际可信度,因此交易成功率较低。

## 4 结 论

为了提高信任模型的抗恶意节点策略性欺骗和不诚实推荐的能力, 本文提出的信任模型中引入全局声誉信度和直接声誉相对信度的概念, 并给出了完整的信任模型描述及仿真。融合推荐信息计算全局声誉时, 引入推荐节点的全局声誉的信度作为一个权值因子, 可以有效抑制恶意推荐的影响; 计算可信度时, 全局声誉的信度起到了调节直接声誉和全局声誉比重的作用, 提高了模型的抗攻击能力。恶意节点为了欺骗获利, 其自身的全局声誉和信度同样较低。当恶意节点在网络中占主导地位时, 诚实节点的全局声誉及其信度可能会不准确, 但在信任决策时, 由于全局声誉的影响度相对较小, 直接声誉的影响相对较大, 从而提高了交易的成功率。另外, 网络中所有节点全局声誉的信任度量可以在一定程度上反映整个网络的健康状况, 这一问题有待进一步深入研究。并且, 对于恶意节点的行为, 除了在算法上进行抑制外, 信任系统还需要采取一定的管理措施对其进行控制。

### 参 考 文 献

- [1] RIPEANU M, FOSTER I, IAMNITCHI A. Mapping the gnutella network: Properties of large-scale P2P systems and implications for system design[J]. IEEE Internet Computing, 2002, 6(1): 50-57.
- [2] FOSTER I, IAMNITCHI A. On death, taxes, and convergence of P2P and grid computing[C]//Proceedings of 2nd International Workshop Peer-to-Peer Systems. Berkeley: Springer-Verlag, 2003: 118-128.
- [3] 吴 鹏, 吴国新, 方 群. 一种基于概率统计方法的P2P系统信任评价模型[J]. 计算研究与发展, 2008, 45(3): 408-416.  
WU Peng, WU Guo-xin, FANG Qun. A reputation-based trust model based on probability and statistics for P2P systems[J]. Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(3): 408-416.
- [4] 郭磊涛, 杨寿保, 王 菁, 等. P2P网络中基于矢量空间的分布式信任模型[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(9): 1564-1570.  
GUO Lei-tao, YANG Shou-bao, WANG Jing, et al. A distributed trust model based on vector space in P2P networks[J]. Journal of Computer Research and Development, 2006, 43(9): 1564-1570.
- [5] KAMVAR S D, SCHLOSSER M T, GARCIA-MOLINA H. EigenRep: Reputation management in P2P networks [C]//Proceedings of the 12th International World Wide Web Conference. New York: ACM Press, 2003: 123-134.
- [6] 窦 文, 王怀民, 贾 焰, 等. 构造基于推荐的Peer-to-Peer环境下的Trust模型[J]. 软件学报, 2004, 15(4): 571-583.  
DOU Wen, WANG Huai-min, JIA Yan, et al. A recommendation-based peer-to-peer trust model[J]. Journal of Software, 2004, 15(4): 571-583.
- [7] LI Xiong, LIU Liug. PeerTrust: Supporting reputation-based trust for peer-to-peer electronic communities[J]. IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(7): 843-857.
- [8] 姜守旭, 李建中. 一种P2P电子商务系统中基于声誉的信任机制[J]. 软件学报, 2007, 18(10): 2551-2563.  
JIANG Shou-xu, LI Jian-zhong. A reputation-based trust mechanism for P2P e-commerce systems[J]. Journal of Software, 2007, 18(10): 2551-2563.
- [9] 石志国, 贺也平, 张 宏. 一种对等计算安全性的时间自衰减信任管理算法[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(1): 1-10.  
SHI Zhi-guo, HE Ye-ping, ZHANG Hong. A time self-decay trust management algorithm for P2P computing security[J]. Journal of Computer Research and Development, 2007, 44(1): 1-10.
- [10] FRIEDMAN E, RESNICK P. The social cost of cheap pseudonyms[J]. Journal of Economics and Management Strategy, 2001, 10(2): 173-1

编 辑 漆 蓉