

## 一种P2P电子商务系统中基于声誉的信任机制\*

姜守旭<sup>+</sup>, 李建中

(哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

### A Reputation-Based Trust Mechanism for P2P E-Commerce Systems

JIANG Shou-Xu<sup>+</sup>, LI Jian-Zhong

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-013936168008, Fax: +86-451-86415827, E-mail: jsx@hit.edu.cn

**Jiang SX, Li JZ. A reputation-based trust mechanism for P2P e-commerce systems. *Journal of Software*, 2007,18(10):2551–2563.** <http://www.jos.org.cn/1000-9825/18/2551.htm>

**Abstract:** The existence of malicious users could damage the correctness and availability of the peer-to-peer (P2P) e-commerce systems. Reputation-Based trust mechanisms can recognize these malicious peers by computing the trustworthiness of the peers. The validity of a reputation-based trust mechanism relies on some well-chosen trust factors, which directly influence the computation of trust value, the accuracy of the trust mechanism, and the resistibility of the trust mechanism to various attacks. However, there are some problems in the above three aspects of existing reputation-based trust mechanisms in P2P environments, such as the selection of trust factors. This paper presents a novel reputation-based trust mechanism for P2P e-commerce systems. In this mechanism, a peer has two kinds of reputations, namely local reputations and global reputations. The local reputation of a peer relative to another peer is calculated in terms of the reference peer's rating of the transaction between the two peers, whereas the global reputation is computed based on all peers' rating of the transaction between them. To compute the local and global reputations precisely and to obtain stronger resistibility to attacks as well, many comprehensive factors in computing trust value are introduced in the mechanism. To estimate the validity of the rating given by peers, a quality model and a computational method are also employed to evaluate the objectivity and the credibility of the rating, respectively. To compute the trust value of a peer, the concept of belief factor is introduced to integrate the local reputation with the global reputation. Furthermore, a method is put forward in this paper for determining belief factor. Finally, the effectiveness and resistibility of the proposed trust mechanism are analyzed theoretically and evaluated experimentally. The experimental results show that the proposed trust mechanism outperforms existing mechanisms, and can effectively be applied to the P2P e-commerce system.

**Key words:** P2P system; e-commerce; trust mechanism; reputation; collusion

---

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60473075 (国家自然科学基金); the Key Program of the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60533110 (国家自然科学基金重点项目); the National Basic Research Program of China under Grant No.2006CB303000 (国家重点基础研究发展计划(973)); the Heilongjiang Province Fund for Young Scholars of China under Grant No.QC06C033 (黑龙江省青年科技专项资金)

Received 2006-12-07; Accepted 2007-03-19

**摘要:** P2P 电子商务系统中恶意节点的存在会破坏系统的正确性和可用性.基于声誉的信任机制通过计算节点的信任度可以识别出恶意节点.这种机制的可用性依赖于信任度的计算方法、信任机制的准确性及其抗攻击能力.然而,P2P 环境下已有的信任机制在上述 3 个方面都存在着一一些问题,这些问题的解决取决于影响信任度的信任因素的选取.因此,提出了一种新的 P2P 电子商务系统中基于声誉的信任机制.在该机制中,一个节点具有两种类型的声誉.一个节点相对于另一个节点的局部声誉是根据另一个节点对其交易行为的评价来计算的.一个节点的全局声誉是根据所有与其交易过的节点对它的评价来计算的.通过较全面地引入影响信任度的信任因素,既解决了局部声誉和全局声誉的精确计算问题,又提高了信任机制抗攻击的能力.为了确定节点所给评价的真实性,提出了一个节点评价的质量模型,并给出了节点评价的可信度计算方法.在计算信任度的过程中,利用置信因子来综合局部声誉和全局声誉,并给出置信因子的确定方法.最后,对信任机制的有效性和抗攻击能力进行了理论分析和实验验证.结果表明,提出的信任机制优于其他现有的方法,能够有效地应用于 P2P 电子商务系统中.

**关键词:** P2P 系统;电子商务;信任机制;声誉;共谋

**中图法分类号:** TP393      **文献标识码:** A

在过去的几年中,P2P 技术得到了飞速发展.P2P 技术正在逐步与数据库技术、信息检索技术、语义信息集成技术相结合,在越来越多的领域得到广泛应用.P2P 系统中的计算节点是对等和分散的,既可以是客户机又可以是服务器,而且可以随时加入和离开系统.P2P 系统的开放结构使其具有如下特性:适应性、自组织性、负载均衡性、容错性及可扩展性.因此,基于 P2P 环境的电子商务系统(简称 P2P 电子商务系统)发展十分迅速.

在 P2P 电子商务系统中,各用户间通过直接通信来交换信息或执行交易事务.但是,这些用户之间往往互不相识而缺乏相互的信任,而且 P2P 系统的开放性又无法避免节点的恶意行为.于是,如果用户不慎选择了恶意节点并与其交易,必将蒙受巨大的损失.在传统的网络环境或电子商务系统中,信任关系的建立依赖于可以信赖的第三方<sup>[1]</sup>.由于 P2P 系统的动态性和分散性,这类系统中一般不存在可信的第三方或权威机构.研究表明<sup>[2,3]</sup>,在 P2P 环境下,采用基于声誉的信任机制可以有效地识别恶意节点并避免恶意行为.基于声誉的信任机制已经在 eBay<sup>[4]</sup>等传统的电子商务系统和基于多 Agent 的系统<sup>[5,6]</sup>中得到了应用,但这些系统都依赖于中心服务器,不适合于 P2P 环境.

基于声誉的信任机制的基本思想是:对于任意一个节点  $N$ ,信任机制根据  $N$  执行过的交易情况和其他节点对其交易行为的评价,为该节点分配一个信任值,使得其他节点可以根据  $N$  的信任值做出是否与  $N$  交易的决策.

基于声誉的信任机制涉及到计算机科学、经济学、心理学和社会学等多个学科.虽然信任和声誉是我们经常使用的两个概念,但要给出它们的定义并不容易.各种文献中关于信任和声誉的定义也比较混乱.本文使用 Gambetta<sup>[7]</sup>和 Abdul-Rahman 与 Haile<sup>[8]</sup>给出的有关信任和声誉的如下定义:

个体  $A$  对个体  $B$  的信任是个体  $A$  期望个体  $B$  为  $A$  服务(即执行  $A$  的利益所依赖的动作)的主观可能性.声誉是基于对某个个体历史行为的观察或评价信息而得出的对该个体未来行为的期望.

为便于讨论,我们将基于个体  $A$  对个体  $B$  历史行为的观察或评价信息而得出的对个体  $B$  未来行为的期望称为  $B$  相对于  $A$  的局部声誉,而将基于所有与  $B$  进行过交易的个体对  $B$  历史行为的观察或评价信息而得出的对个体  $B$  未来行为的期望称为  $B$  的全局声誉.

Jøsang 等人在文献[9]中指出,P2P 环境下,基于声誉的信任机制需要解决的核心问题是:在一个给定的应用中,哪些信任因素最适合用来推断信任和声誉的度量?怎样生成、获取和聚集有关这些信任因素的信息?信任机制能抵抗由战略性个体操纵的各种攻击吗?上述 3 个问题直接影响着信任机制的准确性、信任和声誉值的计算方式以及信任机制的安全性.目前,许多研究者围绕上述问题展开了研究,P2P 环境下基于声誉的信任机制按信任值计算方式的不同大致可以分为以下 3 类:

#### (1) 基于局部声誉的信任机制

在这种信任机制中,信任的度量只是基于个体间的直接经验(局部声誉).这种机制往往比较简单而且通信代价较小.但在 P2P 环境下,一个节点可能经常要与陌生的节点进行交易,而它们之间没有直接交易的经验.

袁巍等人<sup>[10]</sup>提出的HBDTM(history-based distributed trust model)模型就是一种基于局部声誉的信任机制.该模型考虑了交易时间对信任度的影响,但没有给出交易时间影响因子的确定方法,且模型本身抗攻击能力较差.

### (2) 基于全局声誉的信任机制

在这种信任机制中,信任的度量依赖于所有相关节点的评价信息(全局声誉),所以,这种机制可以更准确地估计节点的行为.但是,由于 P2P 系统的大规模和分散性,这种机制往往比较复杂且通信代价较高.

Aberer和Despotovic<sup>[11]</sup>最早提出了一种P2P系统中基于全局声誉的信任机制.在这种信任机制中,任何一个节点可以随时抱怨其他节点,系统通过收集对一个节点的所有抱怨信息来确定该节点的声誉.但该机制没有考虑影响信任度量的相关因素,具有很大的片面性,且不能应对节点的恶意行为.例如,节点可以通过发送大量的抱怨来诋毁某个节点.

Kamvar等人<sup>[12]</sup>基于信任的传递性,提出了P2P环境下基于全局声誉的信任模型EigenRep.EigenRep通过邻居节点间相互满意度的迭代来获取节点的可信度.在无恶意行为的网络中,该模型计算得到的声誉值可以较好地反映节点的真实行为,但该模型存在着收敛性问题,且具有较高的通信代价(每次交易都会导致全网络的迭代).虽然作者在文献[2]中探讨了模型的安全性问题,但其安全(及收敛)保证需要依赖于网络中预先存在若干具有较高声誉的中心服务器节点,这在P2P环境下很难实现.

窦文等人在迭代收敛性和模型安全性方面对EigenRep进行了改进<sup>[13]</sup>,但改进后的模型仍然存在效率问题,且其安全性是通过引入额外的认证机制和惩罚措施实现的.

针对EigenRep信任模型计算代价和通信代价较高的问题,Despotovic和Aberer等人<sup>[14]</sup>提出了利用最大似然估计法计算P2P环境下的节点信任度的方法.为了提高估计的准确性,作者引入了节点撒谎度的概念,但没有给出撒谎度的计算方法.我们通过利用数值方法进行的验证发现,这种方法得到的估计值非 0 即 1,难以准确刻画节点的可信程度.

Song等人<sup>[15]</sup>提出的FuzzyTrust则采用模糊逻辑推理规则来计算节点的全局声誉.这种方法具有较高的恶意节点检测率,但其对抗的恶意行为仅为交易中的不诚实行为,而不能对抗各种针对信任机制的攻击.FuzzyTrust的计算代价和通信代价与EigenRep相当.该模型没有考虑影响评价质量的各种信任因素,作者也没有对模型的收敛性进行论证.

### (3) 利用置信因子综合局部声誉和全局声誉的信任机制

这类信任机制利用置信因子将局部声誉和全局声誉加以结合来确定信任的度量.因为信任是一种个体和主观的印象,基于各种因素和证据,而且其中的一些往往比另一些的权重大.特别地,个人经验比二手信任信息或全局声誉具有更高的权重,但在缺少个人经验的情况下,信任往往要基于从其他人那里得来的信任信息.这类信任机制可以兼具上述两种信任机制的优点,但置信因子的确定是一个一直困扰研究人员的难题.

Resnick等人<sup>[4]</sup>提出利用置信因子来综合局部声誉和全局声誉,但没有给出置信因子的确定方法.

Xiong和Liu等人<sup>[3]</sup>也提出了一种利用置信因子来综合局部声誉和全局声誉的信任机制——PeerTrust.她们综合考虑了影响信任度量的多个信任因素:对交易的评价、节点与其他节点交易的次数、提供评价的节点的可信度、交易上下文和社区上下文,并提供了一种纯分布式的信任度计算方法.虽然她们考虑了较全的信任因素,并能很好地应对虚假评价,但却没有给出信任因素的度量方法以及置信因子的确定方法.这种机制也难以对抗共谋行为.

总之,上述研究工作中存在如下问题,对信任机制的可靠性具有很大的影响:(1) 信任度量的片面性;(2) 计算信任度时不能很好地综合直接经验(局部声誉)和间接经验(全局声誉);(3) 对抗攻击的能力差;(4) 计算代价和通信代价高;(5) 对节点的行为可信度和评价可信度不加区分.

针对这些问题,本文提出了一种新的 P2P 电子商务环境下基于声誉的信任机制.在该机制中,一个节点具有两种类型的声誉,即局部声誉和全局声誉.局部声誉的计算引入了交易时刻和交易金额等信任因素.全局声誉的计算引入了参与评价的节点个数、评价节点的交易总量、评价节点所给评价的可信度等信任因素.本文详细讨

论了这些信任因素的获取和计算方法.为了确保节点所给评价的真实性,本文提出了一个节点评价的质量模型,并给出了节点所给评价的可信度计算方法.本文在计算节点信任度的过程中利用了置信因子的概念来综合局部声誉和全局声誉,并给出了置信因子的确定方法.与目前基于声誉的信任机制相比,我们的方法具有更高的准确度,且能更好地对抗共谋等恶意行为.同时,计算和存储代价都较小.最后,我们通过理论分析和实验验证了信任机制的有效性和安全性,由于该机制较为全面地选取了影响信任度量的信任因素,从而具有较高的准确性和抗攻击的能力,可以有效地对抗行为振荡、共谋和诬陷等攻击.本文的主要贡献如下:

- (1) 本文所提出的 P2P 环境下基于声誉的信任机制较全面地引入了影响信任度量的信任因素,既解决了局部声誉和全局声誉的精确计算问题,又提高了信任机制抗攻击的能力.信任度的计算通过置信因子将局部声誉和全局声誉综合在一起,进一步提高了信任机制的可用性,并提出了置信因子的确定方法;
- (2) 提出了一种局部声誉的计算模型.局部声誉的计算考虑了时间与交易金额对交易评价的影响,分别赋予它们不同的权重.这样可以有效地避免出现恶意节点首先在小额交易上诚实,然后通过积累起来的声誉在大额交易上欺骗买家的行为;
- (3) 提出了一种全局声誉的计算模型.在全局声誉的计算过程中,通过引入如下信任因素来预防节点通过共谋提升其声誉值:参与评价的节点个数、评价节点的交易总量及评价节点所给评价的可信度;
- (4) 将节点的交易行为可信度和评价可信度加以区分,提出了一种节点评价的质量模型,并给出了节点所给评价的可信度计算方法.

本文第 1 节提出一种基于声誉的信任机制.第 2 节提出局部声誉的计算模型.第 3 节提出一种评价的质量模型及评价的可信度计算方法.第 4 节提出全局声誉的计算模型.第 5 节对信任机制的安全性进行分析.第 6 节提出置信因子的确定方法.第 7 节给出实验及结果分析.第 8 节是结论与展望.

## 1 基于声誉的信任机制

本文给出的信任机制主要面向 P2P 电子商务应用,稍加修改亦可用于 P2P 文件共享、P2P 数据管理及 P2P 协同计算等系统.在下面的讨论中,我们把与节点  $j$  发生过交易的节点称为  $j$  的邻居节点.

我们的信任机制的主要思想是:

- (1) 初始时,信任机制为每个节点分配一个局部声誉值 0.5,表示节点的局部声誉中等;
- (2) 当节点  $i$  欲与节点  $j$  进行交易时,信任机制首先获取  $j$  相对于  $i$  的局部声誉值,然后依据局部声誉值和其他信息计算  $j$  的全局声誉值.最后利用置信因子将  $j$  的局部声誉和全局声誉综合在一起得到  $i$  对  $j$  的信任度;
- (3) 节点  $i$  基于信任机制给出的  $i$  对  $j$  的信任度来决定是否与  $j$  进行交易;
- (4) 当  $i$  与  $j$  的交易结束后, $i$  和  $j$  将互给对方一个评价,信任机制基于该评价、以往评价和其他信息,计算  $j$  相对于  $i$  和  $i$  相对于  $j$  的局部声誉值.

下面给出与我们的信任机制有关的一些基本概念.

**定义 1(局部声誉).** 节点  $j$  相对于节点  $i$  的局部声誉  $L_{ij}$  是基于节点  $i$  和节点  $j$  的交易历史及  $i$  对历史交易的评价而得出的  $i$  对  $j$  未来行为的期望(信任程度).  $0 \leq L_{ij} \leq 1$ ,  $L_{ij}$  的计算方法见第 2 节.

**定义 2(评价可信度).** 节点  $i$  对节点  $j$  的评价可信度  $C_{ij}$  代表  $i$  对  $j$  所给出的评价的信任程度.节点  $j$  的评价可信度  $C_j$  代表节点  $j$  所给出的评价的可信程度.  $0 \leq C_{ij}, C_j \leq 1$ , 它们的计算方法详见第 3 节.

**定义 3(全局声誉).** 节点  $j$  的全局声誉  $R_j$  是综合节点  $j$  的邻居节点对  $j$  的评价而得出的  $j$  的可信程度.  $0 \leq R_j \leq 1$ ,  $R_j$  的计算方法见第 4 节.

**定义 4(信任度).** 节点  $i$  对节点  $j$  的信任度  $T_{ij}$  是利用置信因子综合节点  $j$  (相对于  $i$ ) 的局部声誉和节点  $j$  的全局声誉而得出的  $i$  对  $j$  的信任程度.节点  $i$  对节点  $j$  的信任度  $T_{ij}$  的定义如下:

$$T_{ij} = \alpha L_{ij} + \beta R_j \quad (1)$$

其中,  $\alpha$ 和 $\beta$ 为置信因子,  $0 \leq \alpha, \beta \leq 1, 0 \leq T_{ij} \leq 1$ , 置信因子 $\alpha$ 与 $\beta$ 分别代表节点*i*对节点*j*(相对于*i*)的局部声誉 $L_{ij}$ 和*j*的全局声誉 $R_j$ 的重视程度. $\alpha$ 与 $\beta$ 的确定办法见第 5 节.

## 2 局部声誉

局部声誉是根据对节点间发生过的历史交易的评价计算得出的一个节点对另一个节点的信任程度.它类似于人类社会人们通过直接交往所建立起来的一个个体对另一个个体的信任程度.

虽然节点当前的局部声誉主要是根据另一个节点对该节点的历史交易行为的评价来进行计算的,但它不只跟历史评价有关.为了反映局部声誉计算的客观性和准确性,我们在计算局部声誉时引入下面 3 个因素:

(1) 交易时刻.文献[16]基于经济学理论的研究表明:在计算当前声誉时对历史评价进行衰减,可以使声誉收敛到稳定状态.此外,距离当前时刻近的交易评价更能反映节点的近期行为.因此,交易时间距离计算声誉值的时间越远,交易评价对声誉值的影响应该越小<sup>[10,16,17]</sup>;

(2) 交易金额.大额交易的评价对局部声誉的影响也大,这样可以防止用户利用小额交易获得的诚信在大额交易上行骗.另外,交易双方对待大额交易的态度往往更认真,故对大额交易的评价更能反映出节点的真实行为;

(3) 交易评价.每次交易后,交易双方都会给出相应的评价.获得好的评价会带来局部声誉的提高,反之则会降低局部声誉.

为简化讨论,设 $t_0=TS$ 信任值计算的初始时刻, $n$ 是 $t_0$ 时刻后节点*i*和节点*j*之间进行的交易次数.对 $\forall k(1 \leq k \leq n), TS_k, m_k$ 和 $U_k$ 分别表示 $t_0$ 时刻后,*i*与*j*第*k*次交易的交易时刻、交易金额及*i*对*j*的评价, $L_{ij}^{(k)}$ 表示 $TS_k$ 时刻后,节点*j*相对于节点*i*的局部声誉, $0 \leq U_k, L_{ij}^{(k)} \leq 1$ .初始时刻的局部声誉 $L_{ij}^{(0)}$ 设为 0.5,即声誉好与不好的临界值.对于 $\forall k(0 \leq k \leq n), L_{ij}^{(k)}$ 定义如下:

$$\begin{cases} L_{ij}^{(0)} = 0.5, & \text{if } k = 0 \\ L_{ij}^{(k)} = \sum_{l=1}^k \sigma_l U_l, & \text{if } 1 \leq k \leq n \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $\sigma_l = \frac{s_{k,l} m_l}{M_k}$ 为 $TS_k$ 时刻后,节点*i*和节点*j*之间共发生*k*次交易时,第*l*次交易的评价 $U_l$ 在局部声誉 $L_{ij}^{(k)}$ 中所占的权重. $s_{k,l}$ 反映的是时间因素对局部声誉的影响,它表示在 $t_0$ 时刻后,节点*i*和节点*j*之间发生*k*次交易时,节点*i*对它与*j*的第*l*次交易的评价在局部声誉 $L_{ij}^{(k)}$ 中所占的权重,满足 $\sum_{l=1}^k s_{k,l} = 1$ ,且 $s_{k,1} < s_{k,2} < \dots < s_{k,k} \cdot s_{k,l}$ 是交易时刻的函数,本文称其为时间衰减因子.衰减因子的引入,是因为交易时间距离计算声誉值的时间越远,交易评价对声誉值的影响应该越小<sup>[10,16,17]</sup>. $M_k$ 按下式进行计算:

$$M_k = \sum_{l=1}^k s_{k,l} m_l \quad (3)$$

从 $\sigma_l$ 的计算方式可以看出, $\sigma_l$ 既反映了交易时刻对局部声誉的影响,又反映了交易额对局部声誉的影响,交易额大且距离当前时刻近的交易的评价所占的权重也大.其直观意义是: $M_k$ 实际上是利用时间衰减因子对历次交易的交易额进行衰减后得到的交易额总和(本文称其为交易额期望), $s_{k,l}, m_l$ 则是衰减后的第*l*次交易的交易额.于是, $\sigma_l$ 就是综合了时间因素和交易额因素的权重因子.

下面讨论时间衰减因子 $s_{k,l}$ 的计算方法.当有新的交易发生时,由于交易次数发生了变化,所以,我们不仅需要计算新交易的时间衰减因子,而且需要更新历史交易的时间衰减因子,从而我们有如下的时间衰减因子矩阵:

$$\begin{bmatrix} s_{1,1} \\ s_{2,1} & s_{2,2} \\ \vdots & \ddots \\ s_{n,1} & s_{n,2} & \dots & s_{n,n} \end{bmatrix}, \text{ 满足 } \sum_{1 \leq k \leq n, l=1}^k s_{k,l} = 1.$$

根据文献[16]的研究结果,距离当前时刻越近的交易的评价所占的权重越大,距离当前时刻越远的交易的评价所占的权重则越小.所以,时间衰减因子应该满足 $s_{k,1} < s_{k,2} < \dots < s_{k,k}$ . 令 $t_l = TS_l - t_0, 1 \leq l \leq k$ , 则 $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ , 从而 $s_{k,l}$ 可按公式(4)进行计算:

$$s_{k,l} = t_l / \sum_{i=1}^k t_i \tag{4}$$

当节点*i*或其他节点欲与节点*j*进行交易时,计算节点*j*的全局声誉就需要用到节点*j*相对于节点*i*的局部声誉.但是,如果节点*i*和节点*j*最近一次交易的时刻距离当前时刻较远( $TS_{\text{当前时刻}} - TS_{\text{最近一次交易的时刻}} > \tau$ ,  $\tau$ 为有效时间窗口),则需要根据当前时刻的时间衰减因子*s*对局部声誉进行衰减.因此,当前局部声誉 $L_{ij}$ 定义如下:

$$L_{ij} = \begin{cases} \varphi(M_k)L_{ij}^{(n)}, & \text{if } TS_{\text{当前时刻}} - TS_{\text{最近一次交易的时刻}} \leq \tau \\ (1-s)\varphi(M_k)L_{ij}^{(n)}, & \text{if } TS_{\text{当前时刻}} - TS_{\text{最近一次交易的时刻}} > \tau \end{cases} \tag{5}$$

令 $t = TS_{\text{当前时刻}} - t_0$ , 则当前时刻的时间衰减因子*s*可以按下式来计算:

$$s = t / \left( t + \sum_{i=1}^n t_i \right)$$

公式(5)中的 $\varphi(M_k)$ 函数主要用来调节交易额期望对局部声誉的影响,满足 $\lim_{M_k \rightarrow \infty} \varphi(M_k) = 1$ . 如果交易额期望很小,节点将很难获得较高的局部声誉,从而可以有效地避免恶意节点首先在小额交易上表现诚实,然后通过积累起来的声誉在大额交易上欺骗买家.这里,我们取 $\varphi(M_k) = e^{-1/M_k}$ .

### 3 评价可信度

评价可信度反映了一个节点所给出的评价的可信程度.由于节点的声誉是通过其邻居节点所给出的评价来计算的,邻居节点的评价可信度将直接影响声誉的准确性.本节首先提出一个评价的质量模型,然后给出评价可信度的计算方法.

我们所提出的评价的质量模型基于如下直观想法:如图 1 所示,节点A和节点B发生交易后,节点A首先对节点B的交易行为给出评价 $U_{AB}$ .节点C和节点D是两个曾经与B执行过交易的节点,它们对节点B的历史评价反映为B的局部声誉 $L_{CB}$ 和 $L_{DB}$ .节点A根据 $U_{AB}$ 与 $L_{CB}$ 的一致性得出节点C对节点B评价的可信度 $C_{ACB}$ ,令 $C_{ACB} = 1 - |U_{AB} - L_{CB}|$ .直观地讲, $C_{ACB}$ 代表节点A对评价 $L_{CB}$ 的信任程度. $C_{ACB}$ 的准确性还与节点A与节点C当前的评价可信度相关,节点A和节点C的评价可信度越高,则 $C_{ACB}$ 的准确性也越高.于是,当节点A的评价可信度低于 0.5 时,将无权对其他节点的评价进行评价.此外,还可以利用节点C的评价可信度对 $C_{ACB}$ 进行调整,以使评价可信度较快收敛.如果A曾多次对 $L_{CB}$ 进行过评价,则我们还需要考虑时间因素的影响,即距离当前时间越近的评价时刻给出的评价所占的权重越大,反之越小.我们可以采用与计算局部声誉时求解时间衰减因子类似的方式得到相应的权重,只是此时的时刻是A节点对 $L_{CB}$ 给出评价的时刻而非节点A与节点C交易的时刻.

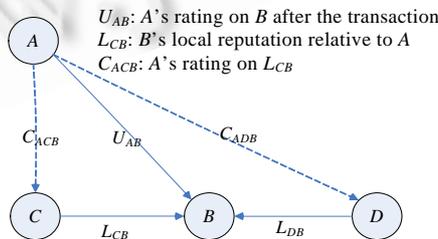


Fig.1 The quality model of rating

图 1 评价的质量模型

现在我们给出评价的质量模型的形式化定义.对于任意节点*i*和*j*, $j_i$ 是节点*j*的邻居节点中与节点*i*有过交易的节点.假设 $t_0$ 时刻后,节点*i*和 $j_i$ 之间共进行了*n*次交易.对 $\forall k (1 \leq k \leq n)$ ,  $TS_k$ 时刻节点*i*对节点 $j_i$ 的交易行为的

评价为  $U_{ij}^{(k)}$ , 节点  $j_i$  相对于节点  $j$  的局部声誉为  $L_{j_i}^{(k)}$ . 节点  $i$  对  $L_{j_i}^{(n)}$  的信任度  $C_{ij_i}^{(n)}$  的定义如下:

$$C_{ij_i}^{(n)} = \begin{cases} 0.5, & \text{if } n=0 \\ \sum_{k=1}^n s_{n,k} (1 - |U_{ij_i}^{(k)} - L_{j_i}^{(k)}|), & \text{if } n>0 \end{cases} \quad (6)$$

虽然公式(6)较为全面地反映出  $i, j$  与  $j_i$  之间关于评价质量的信任关系, 但我们有时需要了解  $i$  对  $j$  节点给所有其他节点的评价的信任程度, 即  $i$  对  $j$  的评价可信度.

假设  $j_1, j_2, \dots, j_m$  是节点  $j$  的邻居节点中与  $i$  发生过交易的节点, 则  $i$  对  $j$  的评价可信度  $C_{ij}$  的定义如下:

$$C_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m C_{ij_k} \quad (7)$$

更进一步地, 我们可以根据所有对  $j$  的评价质量进行过评价的节点对  $j$  的评价可信度综合得出  $j$  的评价可信度. 假设  $j_1, j_2, \dots, j_p$  是曾经对  $j$  的评价质量进行过评价的节点, 则节点  $j$  的评价可信度  $C_j$  的定义如下:

$$C_j = \varphi(p) \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p C_{j_k} \quad (8)$$

其中,  $\varphi(p)$  函数主要用来调节参与评价节点的数目对评价可信度的影响, 满足  $\lim_{p \rightarrow \infty} \varphi(p) = 1$ , 即参加评价的节点数目越多, 评价越趋近于所有节点所给评价的均值. 在此, 我们取  $\varphi(p) = e^{-1/p}$ . 采用这种方法的主要目的是对抗恶意节点的诋毁.

#### 4 全局声誉

节点  $j$  的全局声誉与下列因素有关:

(1) 节点  $j$  的邻居节点数目. 邻居节点的数目越多, 则  $j$  的全局声誉越准确; 反之, 如果邻居节点数目与全局声誉的计算无关, 则少数恶意节点很容易通过共谋来抬升彼此的声誉;

(2) 节点  $j$  的邻居节点与  $j$  的交易金额. 与  $j$  之间的交易额越大, 该邻居节点所给评价所占的权重就越大. 这里考虑的交易额是指节点之间的交易总额;

(3) 节点  $j$  的邻居节点的评价可信度. 邻居节点的评价可信度越高, 则它所给出的评价越可信; 反之, 评价可信度低的邻居节点所给出的评价不可信, 或者我们更愿意相信其评价的反面;

(4) 节点  $j$  的邻居节点给出的对  $j$  的评价. 邻居节点给出好的评价, 会带来节点全局声誉的提高; 反之, 则会降低节点的全局声誉. 由于节点  $j$  的邻居节点对  $j$  的评价已经反映在  $j$  相对于其邻居节点的局部声誉上, 所以, 全局声誉的计算模型使用的是  $j$  相对于其邻居节点的局部声誉.

我们首先根据节点  $j$  的邻居节点给出的对  $j$  的评价(即  $j$  相对于其邻居节点的局部声誉)计算出  $j$  的全局声誉的期望, 然后再利用邻居节点数目和交易金额对全局声誉期望进行修正, 以体现它们对全局声誉的影响. 假设  $j_1, j_2, \dots, j_m$  是节点  $j$  的所有邻居节点,  $C_{j_i}, C_{j_2}, \dots, C_{j_m}$  为节点  $j$  对  $j$  的邻居节点的评价可信度,  $L_{j_1}, L_{j_2}, \dots, L_{j_m}$  为  $j$  相对于其邻居节点的局部声誉,  $M_{j_1}, M_{j_2}, \dots, M_{j_m}$  为  $j$  的各邻居节点与  $j$  的交易总额. 那么  $j$  的全局声誉  $R_j$  的定义如下:

$$R_j = \varphi(m, M) R'_j \quad (9)$$

其中,  $\varphi(m, M)$  为调节函数,  $M = \sum_{k=1}^m M_{j_k}$ . 直观地讲, 参与评价的节点数目越多且交易金额越大, 全局声誉的期望就越接近真实值. 如果参与评价的节点数目较少则应该适当降低全局声誉的期望, 于是该函数应满足如下条件:

$$\lim_{\substack{m \rightarrow \infty \\ M \rightarrow \infty}} \varphi(m, M) = 1 \quad (10)$$

我们取  $\varphi(m, M) = e^{-1/(m \times M)}$ .  $R'_j$  是根据节点  $j$  相对于其邻居节点的局部声誉计算出的全局声誉期望, 具体计算方法如下:

$$R'_j = E(L_{ij}) = \sum_{i=1}^m \rho_i L_{ij} \quad (11)$$

$\rho_i$ 为 $L_{ij}$ 在计算 $j$ 的全局声誉期望时所占的权重,它与 $i$ 和 $j$ 之间的交易量及节点 $i$ 的评价可信度有关. $i$ 和 $j$ 之间的交易量越大且 $i$ 的评价可信度越高,则 $j$ 相对于 $i$ 的局部声誉 $L_{ij}$ 在 $R'_j$ 的计算中所占的权重就越大.我们按下式来计算 $\rho_i$ :

$$\rho_i = \frac{C_i M_{ij}}{\sum_{k=1}^m C_i M_{jkj}} \quad (12)$$

现在我们就可以利用公式(9)来计算 $j$ 的全局声誉值了.由公式(9)容易看出,当节点数目 $m$ 很大时, $R_j = R'_j$ .

## 5 置信因子 $\alpha$ 与 $\beta$ 的确定

节点 $i$ 对节点 $j$ 的信任度 $T_{ij}$ 是决定节点 $i$ 是否与 $j$ 进行交易的关键因素.因为它是综合 $j$ 相对于 $i$ 的局部声誉及节点 $j$ 的全局声誉而得到的,其计算过程必须考虑节点 $i$ 对局部声誉 $L_{ij}$ 和全局声誉 $R_j$ 的置信程度.直观地讲,如果节点 $i$ 通过直接交易对节点 $j$ 的行为比较了解,节点 $i$ 应该更相信节点 $j$ 相对于 $i$ 的局部声誉.如果节点 $i$ 与节点 $j$ 之间交易很少从而对 $j$ 的行为不太了解,则节点 $i$ 应该更相信节点 $j$ 的全局声誉.另外,节点 $j$ 的全局声誉是通过综合节点 $j$ 的邻居节点所给出的评价得来的.如果节点 $i$ 对节点 $j$ 的邻居节点的评价可信度高的话,节点 $i$ 也应该更加相信通过这些邻居节点的评价综合得出的 $j$ 的全局声誉.基于上述分析,我们给出式(1)所示的信任度计算公式.为便于讨论,将式(1)重写如下:

$$T_{ij} = \alpha L_{ij} + \beta R_j,$$

其中, $\alpha$ 称为局部声誉置信因子, $\beta$ 称为全局声誉置信因子.因为 $L_{ij}$ 与 $R_j$ 的初始值均为0.5,所以, $\alpha$ 与 $\beta$ 对 $L_{ij}$ 与 $R_j$ 的影响应该只体现在对其(正或负)增量的影响上.于是,我们将式(1)进一步改写如下:

$$T_{ij} = (0.5 + \alpha(L_{ij} - 0.5)) + (0.5 + \beta(R_j - 0.5)).$$

由于按上式求得的信任度可能大于1,所以,我们对其进行归一化处理得到式(13):

$$T_{ij} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} (0.5 + \alpha(L_{ij} - 0.5)) + \frac{\beta}{\alpha + \beta} (0.5 + \beta(R_j - 0.5)) \quad (13)$$

$\alpha$ 表示节点 $i$ 对局部声誉 $L_{ij}$ 的信心,节点 $i$ 与节点 $j$ 的交易次数越多、交易金额越大,则节点 $i$ 对节点 $j$ 的了解程度也就越大,节点 $i$ 就应该更加相信通过他与节点 $j$ 的直接交易经验而得到的局部声誉 $L_{ij}$ .为简化计算,设节点 $i$ 与节点 $j$ 在初始交易时刻后的交易总次数为 $n_{ij}$ 、交易总额为 $M_{ij}$ ,则令 $n_j = \max\{n_{ij} | j \text{ 为 } i \text{ 的邻居节点}\}$ ,  $M_j = \max\{M_{ij} | j \text{ 为 } i \text{ 的邻居节点}\}$ ,于是,可以按式(14)来计算 $\alpha$ :

$$\alpha = \sqrt{\frac{n_{ij} M_{ij}}{n_j M_j}} \quad (14)$$

$\beta$ 表示节点 $i$ 对全局声誉的信心,与 $j$ 的全局声誉的计算方式有关.设 $j$ 共有 $m$ 个邻居节点,分别记为 $j_1, j_2, \dots, j_m$ .由于 $j$ 的全局声誉是综合 $j$ 的邻居节点对 $j$ 的评价而得出的,所以, $i$ 对 $j$ 的邻居节点 $j_k (1 \leq k \leq m)$ 的评价可信度(或节点 $j_k$ 的评价可信度)及 $i$ 与 $j_k$ 之间的交易总额将直接影响 $i$ 对 $j$ 的全局声誉的信心.假设节点 $i$ 与节点 $j_k (1 \leq k \leq m)$ 之间的交易总额是 $M_{ik}$ ,令 $\rho_{jk} = M_{ik} / \sum_{i=1}^m M_{ij}$ ,则我们可以按下式计算 $\beta$ :

$$\beta = \begin{cases} 0, & \text{如果 } m=1 \text{ 且 } j_1 = i \\ \sum_{k=1}^m \rho_{jk} (\lambda C_{ij_k} + (1-\lambda)C_{j_k}), & \text{其他情况} \end{cases} \quad (15)$$

其中, $\lambda = \begin{cases} 1, & \text{如果 } i \text{ 对 } j_k \text{ 的反馈给出过评价} \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$ .

## 6 信任机制的安全性分析

全局声誉值 $R_j$ 可以反映出节点 $j$ 提供服务的质量,而评价可信度 $C_j$ 则反映了节点 $j$ 给出评价的综合质量,从而,我们的信任机制可以有效地区分网络中节点的行为,这在电子商务系统中是至关重要的.本节从理论上分析我们所给出的信任机制的安全性.下面通过论述我们的信任机制的 7 个性质,来说明该信任机制对抗攻击的能力.

**性质 1.** 局部声誉的提升需要进行多次诚信交易,且交易额越大对局部声誉的影响也越大.

**性质 2.** 通过累计小额交易的诚信不能获得局部声誉的大幅提升.

**性质 3.** 评价的质量模型可以有效地识别节点给出评价时的夸大或夸小等恶意行为.

**性质 4.** 恶意节点共谋会降低节点的评价可信度.

说明:根据评价质量模型,当节点具有较低的评价可信度时,不能对其他节点的评价行为进行评价,而共谋组内节点的评价行为会受到诚信评价节点的评价,这将使其具有较低的评价可信度.

**性质 5.** 在全局声誉计算中涉及到的节点,需要具有较高的评价可信度才能获得较高的全局声誉置信因子.

**性质 6.** 一个节点若想提高其全局声誉值,须与大量诚信节点进行大金额交易.

**性质 7.** 本文给出的信任机制可以有效对抗共谋.

说明:首先,由于共谋节点的评价可信度低且节点数目较少,由性质 5 及性质 6 可知,它们的恶意行为对被诬陷节点的声誉值影响不大,即节点通过共谋对其他节点的诬陷不会奏效;其次,节点通过共谋不能大幅提升其全局声誉值,原因有二:(1) 新加入系统的节点无法通过共谋提升其全局声誉.新加入的节点构成了一个封闭系统,系统中的节点必须与外界进行交易才能改变其全局声誉值,因此,共谋在这种情况下是行不通的;(2) 已经具有较高声誉值的节点无法通过共谋提升其全局声誉.节点共谋的规模不可能很大,当共谋节点与共谋节点以外的节点进行交易时,它们的真实行为会被如实地反映到评价可信度及全局声誉上;此外,在信任度的计算过程中,由性质 2 可知,共谋节点也难以获得较高的局部声誉和局部声誉置信因子,从而导致其信任度难以得到提升.

综上所述,节点通过共谋难以获得信任度的提升,因此,我们的信任机制具有性质 7.

## 7 实验及结果分析

本节通过仿真实验来验证我们的信任机制的有效性和准确性.我们利用 NetLogo<sup>[18]</sup> 建立了一个仿真平台,该平台可以模拟大规模的动态 P2P 环境及节点之间的交易过程. NetLogo 是人工智能领域中流行的多智能体仿真软件,利用它可以很容易地为独立和相似的智能体建模.

在我们的仿真平台中,节点的服务质量分为诚信服务、不诚信服务、随机变化和振荡服务 4 种类型.诚信服务是指交易中提供诚信的服务(如按时交货、按时付款等).不诚信服务是指交易中提供不诚信的服务.随机变化是指交易中提供的服务时而诚信时而反之,交易中的行为表现是随机的.振荡服务是指在一段时间连续提供诚信的服务,之后开始提供不诚信的服务,过一段时间又开始提供诚信的服务,如此循环.如果一个节点每次交易提供的服务质量均为诚信服务,则称该节点为诚信服务节点.如果一个节点每次交易提供的服务质量均为不诚信服务,则称该节点为不诚信服务节点.如果一个节点提供的服务质量为随机变化,则称该节点为随机服务节点.如果一个节点提供的服务质量为振荡服务,则称该节点为振荡服务节点.

一个节点对其他节点的评价的质量分为诚信评价、共谋评价、夸张评价和诋毁评价 4 种类型.诚信评价是指交易后提交的对交易伙伴的评价是真实的.共谋评价是指交易后提交的对共谋伙伴或同伙的评价偏高,而对非共谋伙伴的评价偏低.夸张评价是指交易后提交的对交易伙伴的评价是夸大或夸小的.诋毁评价是指交易后提交的对交易伙伴的评价总是较低.如果一个节点每次交易后提交的评价质量均为诚信评价,则称该节点为诚信评价节点.如果一个节点每次交易后提交的评价质量均为共谋评价,则称该节点为共谋评价节点.如果一个节点每次交易后提交的评价质量均为夸张评价,则称该节点为夸张评价节点.如果一个节点每次交易后提交的评价质量均为诋毁评价,则称该节点为诋毁评价节点.

我们设定了一个服务质量参数 *ServiceQuality* 来表示诚信服务节点的服务质量.如果 *ServiceQuality* 设为  $r$ , 则诚信评价节点对诚信服务节点的评价就是  $r$ .共谋评价节点互相之间给出的评价为  $r$ ,共谋评价节点给非共谋评价节点的评价为  $1-r$ .夸张评价节点根据夸张因子 *Exaggerator* 对交易伙伴给出评价,他们对诚信服务节点的评价为  $r+Exaggerator \times (r-0.5)$ .诋毁评价节点对交易伙伴的评价均为  $\min(r, 1-r)$ .为便于讨论,我们将共谋评价节点、夸张评价节点和诋毁评价节点统称为恶意评价节点.

7.1 实验1:信任机制的有效性分析

本实验主要考察我们的信任机制中的局部声誉模型、评价质量模型及全局声誉模型的有效性,并对信任机制应对恶意攻击的能力进行分析.在局部声誉计算的实验中,由于我们只是要验证局部声誉计算的准确性,所以将所有节点均设为诚信评价节点.实验结果如图 2 所示,从图 2 可以看出:诚信服务节点的局部声誉很快收敛到设定的服务质量值,而随机服务和振荡服务节点则随相应因子的不同而表现出不同的行为变化趋势.图 3 的实验结果表明:具有不同评价质量的评价节点其评价可信度的变化趋势是不同的.恶意评价节点的评价可信度较低,且评价可信度下降速度很快.

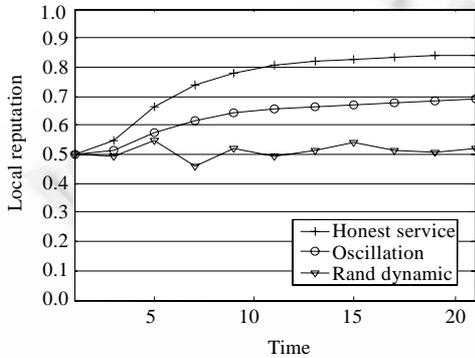


Fig.2 Trends of local reputation  
图 2 局部声誉变化趋势

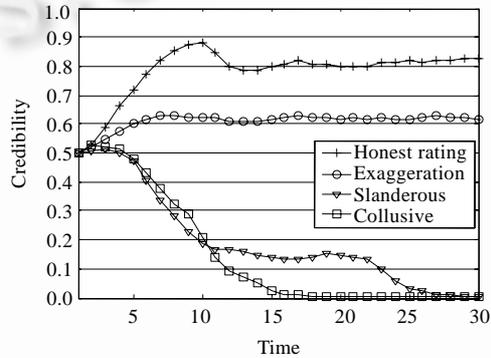


Fig.3 Trends of credibility  
图 3 评价可信度变化趋势

图 4 和图 5 反映了我们的信任机制应对攻击的能力,当共谋评价节点或诋毁评价节点的比例小于 50%时,诚信评价节点的评价可信度较高而共谋或诋毁评价节点的评价可信度很低,充分说明了共谋或诋毁评价行为对评价可信度的影响非常小.

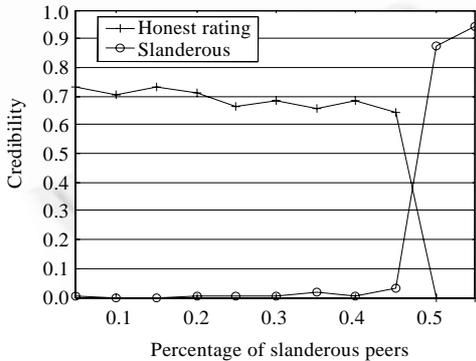


Fig.4 Trends of credibility when existing slanderous peers

图 4 诋毁评价节点比例对评价可信度的影响

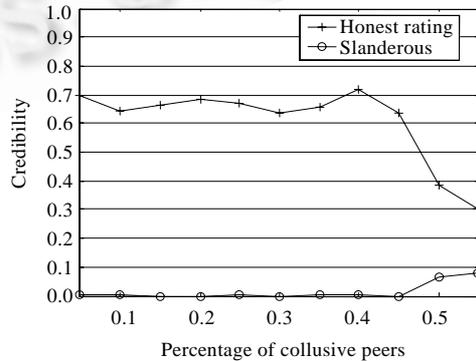


Fig.5 Trends of credibility when existing collusive peers

图 5 共谋评价节点比例对评价可信度的影响

图 6 反映了在恶意评价节点比例为 60%时,不同服务类型节点的全局声誉的变化趋势,诚信服务节点的声誉仍能获得提升而不诚信服务节点的声誉会有所下降.振荡服务节点的全局声誉在初始时具有较大的波动,但随着交易的进行,其全局声誉趋近于 0.5.随机服务节点的全局声誉会随着提供好服务的可能性大小而表现出较大的不同,提供好服务的概率越大,其全局声誉越高.图 7 反映了恶意评价节点比例在 75%时的全局声誉变化情况,此时,恶意评价成为主流评价,致使各种服务类型节点的全局声誉都较低,恶意评价节点不能通过这种方式提升其全局声誉值,进一步说明我们的信任机制具有良好的抗攻击能力.

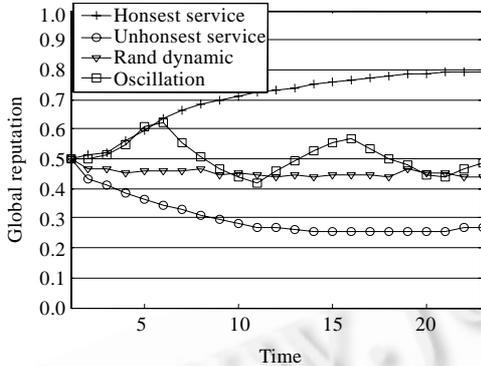


Fig.6 Trends of global reputation when existing 60% malicious rating

图 6 恶意评价节点比例为 60%时的全局声誉变化趋势

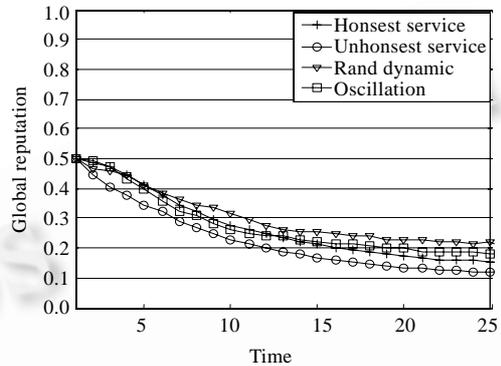


Fig.7 Trends of global reputation peers when existing 75% malicious rating peers

图 7 恶意评价节点比例为 75%时的全局声誉变化趋势

7.2 实验2:对比实验

本实验主要考察我们的信任机制与同类信任机制的性能对比情况.虽然目前存在许多种基于声誉的信任机制,但根据文献级别及其引用情况,我们选取了 5 种较好的基于声誉的信任机制来与我们的信任机制进行对比.为便于讨论,本文将这 5 种信任机制分别称为Avg<sup>[19]</sup>,HW<sup>[20]</sup>,PSM<sup>[21]</sup>,WMA<sup>[22]</sup>,Beta<sup>[17]</sup>.HIT为本文提出的信任机制.从图 8 和图 9 可以看出:本文提出的信任机制具有较低的计算及存储负载,这是由于本文设计的信任机制可采用迭代计算方法,信任值的更新只与当前信任数据有关,故能获得较高的时空效率.计算方法较为简单的Avg和Beta机制亦具有较小的计算及存储负载.

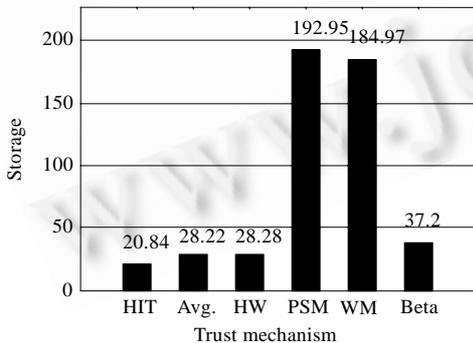


Fig.8 Storage contrast

图 8 存储空间对比

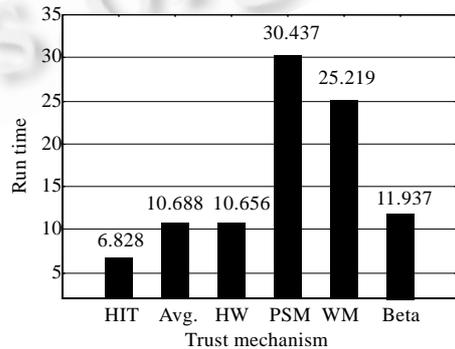


Fig.9 Run time contrast

图 9 运行时间对比

当节点 i 欲与节点 j 进行交易时,如果节点 i 通过某信任机制预测节点 j 将提供诚信服务,而在此次交易中节点 j 确实提供了诚信服务(反之亦然),则称该信任机制提供了一次正确预测.于是,我们可以将信任机制的准确度定义为正确预测的次数与总预测次数的比值.实验结果表明:恶意评价节点及随机服务和振荡服务节点对模

型准确性的危害较大.在诚信服务节点比例较高且恶意评价节点比例较低的环境中,各种信任机制均具有较高的准确性.随着恶意评价节点、随机及振荡服务节点比例的增大,各种机制的准确度都有不同程度的降低.图 10 反映了在恶意评价节点比例为 45%,随机和振荡服务节点比例共为 20%的情况下各种机制的准确性对比情况.从图中可以看出:本文提出的机制具有较高的准确度.图 11 为恶意评价节点比例为 60%、随机和振荡服务节点比例共为 40%的情况下各种机制的准确性对比情况.从图中可以看出:各种机制的准确性均有较大幅度的下降,但我们的机制仍能保持相对较高的准确性,说明本文提出的信任机制具有较强的抗攻击能力.此外,由实验结果还可以发现:复杂的信任机制(如 PSM 和 WMA)在某些场合下并不一定能够获得较好的效果.

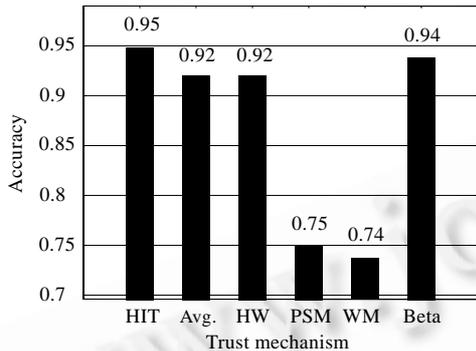


Fig.10 Accuracy contrast when existing 45% malicious rating peers

图 10 恶意评价节点比例为 45%时的准确性对比

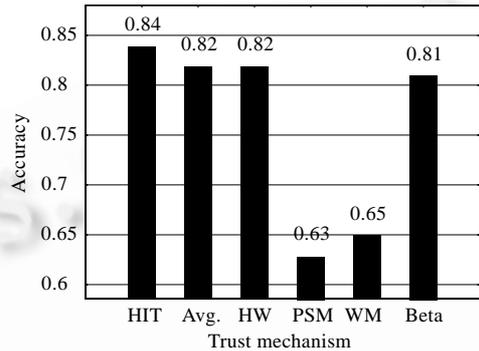


Fig.11 Accuracy contrast when existing 60% malicious rating peers

图 11 恶意评价节点比例为 60%时的准确性对比

## 8 结 论

本文对 P2P 环境下、尤其是面向电子商务应用中的信任管理问题进行了深入的分析,提出了一种新的基于声誉的信任机制.该机制利用置信因子综合局部声誉和全局声誉来计算节点的信任度.本文详细设计了局部声誉、评价可信度、全局声誉及节点信任度的计算方法.理论分析和实验结果表明,本文提出的信任机制可以有效地对抗战略性行为变换(随机服务和振荡服务)、夸张评价及共谋评价等恶意行为,并能准确地反映出节点的服务质量和评价质量.由于 P2P 网络的复杂性及信任问题的难解性,我们的信任机制仍需要进行不断的改进.今后,我们将主要集中进行如下方面的研究:

(1) 信任信息的更新方法与更新策略的研究;

(2) 继续研究分析 P2P 电子商务环境中的不同攻击类型,开发针对不同恶意行为的激励机制,以便使我们的信任机制具有更强的对抗恶意行为的能力.

## References:

- [1] Atif Y. Building trust in e-commerce. IEEE Internet Computing, 2002,6(1):18-24.
- [2] Kamvar SD, Schollosser MT, Molina HG. The EigenTrust algorithm for reputation management in P2P networks. In: Lawrence S, ed. Proc. of the 12th Int'l World Wide Web Conf. (WWW 2003). Budapest: ACM Press, 2003. 640-651.
- [3] Xiong L, Liu L. PeerTrust: Supporting reputation-based trust for peer-to-peer electronic communities. IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, 2004,16(7):843-857.
- [4] Resnick P, Zeckhauser R. Trust among strangers in Internet transactions: Empirical analysis of eBay's reputation system. In: Baye MR, ed. The Economics of the Internet and E-Commerce, Advanced in Applied Microeconomics. Amsterdam: Elsevier Science, 2002. 127-157.

- [5] Yu B, Singh MP. A social mechanism of reputation management in electronic communities. In: Klusch M, Kerschberg L, eds. Proc. of the Int'l Workshop on Cooperative Information Agents (CIA). Boston: Springer-Verlag, 2000. 154–165.
- [6] Zacharia G, Maes P. Trust management through reputation mechanisms. *Applied Artificial Intelligence*, 2000,14(8):881–907.
- [7] Gambetta D. Can we trust trust? In: Gambetta D, ed. *Trust: Making and Breaking Cooperative Relations*. Oxford: Basil Blackwell, 1990. 213–238.
- [8] Rahman AA, Hailes S. Supporting trust in virtual communities. In: Proc. of the 33rd Hawaii Int'l Conf. on System Sciences. Hawaii: IEEE Computer Society Press, 2000. 4–7. [http://www.hicss.hawaii.edu/hicss\\_33/apahome3.htm](http://www.hicss.hawaii.edu/hicss_33/apahome3.htm)
- [9] Jøsang A, Ismail R, Boyd C. A survey of trust and reputation systems for online service provision. *Decision Support Systems*, 2007, 43(2):618–644.
- [10] Yuan W, Li JS, Hong PL. Distributed peer-to-peer trust model and computer simulation. *Journal of System Simulation*, 2006,18(4): 938–942 (in Chinese with English abstract).
- [11] Aberer K, Despotovic Z. Managing trust in a peer-to-peer information system. In: Paques H, Liu L, Grossman D, eds. Proc. of the 10th Int'l Conf. on Information and Knowledge Management (CIKM 2001). Atlanta: ACM Press, 2001. 1–7.
- [12] Kamvar SD, Schlosser MT. EigenRep: Reputation management in P2P networks. In: Lawrence S, ed. Proc. of the 12th Int'l World Wide Web Conf. (WWW 2003). Budapest: ACM Press, 2003. 123–134.
- [13] Dou W, Wang HM, Jia Y, Zou P. A recommendation-based peer-to-peer trust model. *Journal of Software*, 2004,15(4):571–583 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/571.htm>
- [14] Despotovic Z, Aberer K. Maximum likelihood estimation of peers' performance in P2P networks. In: Proc. of the 2nd Workshop on the Economics of Peer-to-Peer Systems. Cambridge: Harvard University, 2004. 1–9. <http://www.eecs.harvard.edu/p2pecon/>
- [15] Song SS, Hwang K, Zhou RF, Kwok YK. Trusted P2P transactions with fuzzy reputation aggregation. *IEEE Internet Computing*, 2005,9(6):24–34.
- [16] Huberman BA, Wu F. The dynamics of reputations. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2004, 4:1–17.
- [17] Jøsang A, Ismail R. The beta reputation system. In: Proc. of the 15th Bled Electronic Commerce Conf., Bled, 2002. 324–337. <http://domino.fov.uni-mb.si/ECOMFrames.nsf/pages/bled2002>
- [18] Wilensky U. Netlogo. 1999. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>
- [19] Liang Z, Shi W. Enforcing cooperative resource sharing in untrusted peer-to-peer environment. *ACM Journal of Mobile Networks and Applications (MONET) (Special Issue on Noncooperative Wireless Networking and Computing)*, 2005,10(6):971–983.
- [20] Wang Y, Vassileva J. Trust and reputation model in peer-to-peer networks. In: Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Peer-to-Peer Computing (P2P 2003). IEEE Press, 2003. 150–157. <http://www.ida.liu.se/conferences/p2p/p2p2003/>
- [21] Srivatsa M, Xiong L, Liu L. Trustguard: Countering vulnerabilities in reputation management for decentralized overlay networks. In: Ellis A, Hagino T, eds. Proc. of the 14th World Wide Web Conf. (WWW 2005). Chiba: ACM Press, 2005. 422–431.
- [22] Yu B, Singh M, Sycara K. Developing trust in large-scale peer-to-peer systems. In: Proc. of the 1st IEEE Symp. on Multi-Agent Security and Survivability. 2004. 1–10. <http://www.cs.drexel.edu/mass2004/>

#### 附中文参考文献:

- [10] 袁巍,李津生,洪佩琳.一种 P2P 网络分布式信任模型及仿真.系统仿真学报,2006,18(4):938–942.
- [13] 窦文,王怀民,贾焰,邹鹏.构造基于推荐的 Peer-to-Peer 环境下的 Trust 模型.软件学报,2004,15(4):571–583. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/571.htm>



姜守旭(1968—),男,山东平度人,副教授,主要研究领域为对等计算,信任管理,传感器网络。



李建中(1950—),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为统计与科学数据库系统,并行数据库系统,数据仓库与数据挖掘,传感器网络,数据网格。