

## CERep: 一种可信度增强的信誉机制\*

常俊胜, 庞征斌, 徐炜遐, 夏 军, 尹 刚  
(国防科技大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:**增强信誉机制对信誉信息的有效聚合能力是信誉系统成功的基础。已有的基于局部信誉信息的信誉系统难以有效处理节点的复杂策略不诚实推荐行为,并且可能把提供诚实推荐的节点错误划分为不诚实节点。对此,提出了一种可信度增强的信誉机制 CErEp。该机制中,节点基于自身的经验产生的直接信任评价,包含直接信任评价价值和关于此评价值的信心因子两个部分。在此基础上,提出了新的基于信誉的信任评价算法和推荐可信度计算模型,并给出了信誉机制的分布式实现策略。分析和模拟实验表明,CERep 信誉机制能够有效应对复杂策略的不诚实推荐行为,提高信任评价的准确性,实现对节点推荐可信度更公平的评价。

**关键词:**信誉机制;推荐;信任;信誉

**中图分类号:**TP316 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-2486(2014)02-0105-08

## CERep: A credibility enhanced reputation mechanism

CHANG Junsheng, PANG Zhengbin, XU Weixia, XIA Jun, YIN Gang

(College of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Enhancing reputation mechanism's capability of aggregating reputation information effectively is the foundation of a successful reputation system. Current reputation systems based on localized reputation information cannot process such strategic recommendations as correlative and collusive ratings. Furthermore there exists unfairness to blameless peers in these models. Therefore, a Credibility Enhanced Reputation mechanism CErEp is presented. In CErEp, a peer uses its experiences to compute the direct trust valuation which contains direct trust value and level of confidence about this value, then a reputation-based trust valuation scheme and recommendation credibility computation model is proposed. Moreover, the strategies used for implementing the reputation mechanism are also discussed. Theoretical analysis and simulation show that CErEp reputation mechanism proposed can help peers effectively detect dishonest recommendations in a variety of scenarios where more complex malicious strategies are introduced, and achieve a more accurate trust valuation and fair evaluation of recommendations.

**Key words:** reputation mechanism; recommendation; trust; reputation

随着互联网技术的不断发展,在线交易、资源共享等网络交流与合作逐渐深入到人们的日常生活当中,给人们的生活带来极大的便利<sup>[1-2]</sup>。但由于互联网系统的动态和开放性,无法保证交互双方行为的确定性与可靠性,使得用户面临一定的交互风险。已有的工作<sup>[3-4]</sup>显示,信誉系统通过收集和分析用户的历史行为来预测他们在未来交互中可能的行为,从而为交互对象的选择提供一定的依据,能够成功地规避风险。

根据信誉信息的收集方式及获取的范围,现有的信誉系统分为基于全局的信誉系统和基于局部的信誉系统<sup>[5-6]</sup>。基于全局的信誉系统假设所有节点均可访问到所需的信誉信息,获得完整的信誉信息视图,通常采用集中存储设施或者分布的存储设施来实现信誉信息的存储,例如采用

DHT 如 P-Grid<sup>[7]</sup>、CAN<sup>[8]</sup>等。基于局部的信誉系统一般使用局部化的信誉信息收集方法<sup>[9]</sup>,典型的一种方法是,它假设每个节点具有几个邻居节点(物理意义上的或者逻辑意义上的,前者指拓扑相邻,后者不一定要求拓扑相邻,可能是在交互过程中建立的信任关系),信誉信息的收集通常是通过邻居节点之间的“查询-应答”来实现。节点基于局部信誉信息视图进行信任评价。

现有的基于局部的信誉系统难以有效处理复杂策略的不诚实推荐行为,如提供高质量服务的同时提供不诚实推荐、开始一段时间提供诚实推荐之后提供不诚实推荐、合伙欺骗行为;并且可能把提供诚实推荐的节点错误划分为不诚实节点,例如,节点的推荐基于少量的交互或者(并且)目标评价节点的服务质量变化很大,那么诚实的推

\* 收稿日期:2012-06-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61202119);863 高科技计划发展项目(2012AA01A301,2013AA014301,2013AA01A208)

作者简介:常俊胜(1979—),男,助理研究员,博士,E-mail:jschang\_nudt@gmail.com

荐节点可能被错误划分为不诚实节点。针对基于局部的信誉系统存在的上述问题,提出了一种可信度增强的信誉机制 CERep。

## 1 相关工作分析

信誉系统依赖于节点提供的推荐<sup>①</sup>, 恶意节点可以通过提交不诚实推荐影响信任评价结果, 从中获取好处或者颠覆信誉系统。有效应对不诚实推荐是实现可靠的基于信誉的信任评价的一项基本需求。大部分信誉机制对不诚实推荐都提出了相应的处理方法, 这方面的研究是信誉机制研究的一个十分活跃的领域, 已有的处理方法大致可以分为两类<sup>[10]</sup>: 内生方法和外生方法。

### 1.1 内生方法

这类方法的基本思想是: 通过对所收集的信誉信息自身的分析和比较, 来剔除不诚实推荐或者在信任评价时给予不诚实推荐较低的权重。这种方法包括 Dellarocas<sup>[11]</sup>、Chen 和 Singh<sup>[12]</sup> 和 Whitby<sup>[10]</sup>。该类方法假设大多数节点提供诚实的推荐, 因此如果一个推荐和大多数节点的观点相偏离, 则认为是不诚实推荐。这种假设在开放的网络环境中并不总是成立, 在某些情况下推荐可能很少, 并且大多数的推荐是不诚实的。另外, 恶意节点可以通过提交大量的不诚实推荐使之成为主流观点, 其他少量的诚实推荐信息被错误划分为不诚实的推荐信息, 产生不正确的信任评价。

### 1.2 外生方法

这类方法的基本思想是: 使用外部因子, 通常是推荐可信度(反馈可信度), 来决定这些推荐在信任评估时所占的权重。推荐可信度标识节点提供推荐的可靠程度, 推荐可信度高的节点提供的推荐在信任评估时具有更大的权重。外生方法具有更好的适应能力, 无须假设大多数节点提供的推荐都是诚实的, 现有的大部分信誉系统都是使用这种方法来处理不诚实推荐问题。为了计算节点的推荐可信度, 现有的方法可以分为三类:

(1) 等同于服务信任的方法。EigenTrust<sup>[13]</sup>、ManagingTrust<sup>[14]</sup> 和 LimitedReputation<sup>[15]</sup> 都是采用这类方法, 这类方法没有专门的推荐可信度计算方法, 用提供服务的信任度来代替推荐可信度。这类方法有一定的局限性, 节点可以通过提供高质量的服务维护高的信任值但同时提供不诚实推荐来操纵甚至颠覆信誉系统。

(2) 基于推荐相似度的方法。这类方法的基本思想是: 节点之间基于直接交互经验形成直接

信任评价(通常是采用平均值法), 如果把每个节点对其他节点的直接信任评价作为一个向量的话, 那么就可以使用计算向量相似度的方法来评价两个节点对其他节点事务反馈的相似度, 直观上, 反馈相似度越高, 则表示反馈可信度越高。向量相似性度量的方法有 Pearson correlation<sup>[16]</sup>、空间矢量模型<sup>[17]</sup>、个人相似度度量 PSM<sup>[18-19]</sup> 等。基于反馈相似度的方法会面临公共交互节点集合很小的问题<sup>[20]</sup>, 影响信任评价的准确性。

(3) 基于推荐和交互评价结果之间的差异进行推荐可信度计算。这类方法的思想是: 通过比较节点提供的推荐和实际交互结果之间的差异, 差异越小, 则认为节点的推荐可信度越高。典型的如 DevelopTrust<sup>[21]</sup> 提出的加权大多数算法 WMA 和 Huynh 提出的推荐可信度计算模型<sup>[22]</sup>。这类方法面临这样一个问题: 通常推荐者提供的推荐是一个关于目标节点的综合信任观点, 因此如果节点的推荐基于少量的交互或者(并且)目标节点的服务质量变化很大, 那么诚实的推荐节点可能被错误划分为不诚实节点。

## 2 可信度增强的信誉机制 CERep

本节介绍本文提出的信誉机制 CERep, 分别对基于信誉的信任评价算法和推荐可信度计算模型进行介绍。

### 2.1 基于信誉的信任评价

基于信誉的信任评价通常考虑节点之间的两种信任关系: 直接信任关系和间接信任关系。直接信任关系的建立基于节点自身的经验, 包括直接信任评价价值和信心因子。间接信任评价基于收集到的其他节点提供的推荐。基于直接信任和间接信任可以获得综合的信任评价观点, 下面分别进行介绍。

#### 2.1.1 直接信任评价及信心因子

考虑到节点可能会随着时间改变其行为, 早期的事务评价对信任值的计算影响较小, eBay 的经验显示只有最近一段时间的事务评价是有意义的<sup>[12]</sup>。节点需要记录发生在最近一段时间  $D$  内的事务评价, 事务评价记录可以表示为五元组:  $e$

① 节点基于收集的信誉信息进行信任评价, 收集的信誉信息通常具有两种类型: (1) 事务反馈; (2) 关于目标评价节点的信任观点, 通常称之为推荐。本节讨论各种信誉系统对收集的信誉信息的处理方法, 因此, 未作特别说明, 对信誉信息、反馈、推荐这三个术语不做进一步统一, 对反馈可信度、推荐可信度、信誉信息可信度不做进一步统一。

$= (i, j, t, c, v)$ , 其中  $i$  和  $j$  是参与交互的两个节点,  $v$  是在服务上下文  $c$  下节点  $i$  对节点  $j$  所提供的评价,  $v$  的取值范围为  $[0, 1]$ , 0 和 1 分别代表完全负面和正面的评价, 值越大表示对事务交互的满意度越高。  $t$  表示交互发生时的时间, 一条事务评价记录在一段时间  $D$  后可以删除。

在时间  $t$ , 节点  $i$  需要评价节点  $j$  关于服务上下文  $c$  的直接信任值, 记为  $D_{ij}^t$ , 那么节点  $i$  从它的本地数据库中获得相关的事务评价信息, 记为  $Exp(i, j, c)$ ,  $D_{ij}^t$  使用式(1)进行计算:

$$D_{ij}^t = \frac{\sum_{e \in Exp(i, j, c)} e \cdot v \cdot \alpha^{(t-e.t)}}{\sum_{e \in Exp(i, j, c)} \alpha^{(t-e.t)}} \quad (1)$$

其中  $e \cdot v$  是事务评价  $e$  满意度评价,  $\alpha$  是时间衰减因子, 取值为  $(0, 1)$ , 根据具体的应用进行取值。为了有效检测节点行为的变化, 引入时间衰减因子  $\alpha$ , 赋予新的事务评价经验更高的权重, 节点突然的不良行为会导致其信任值的快速下降, 而信誉低的节点可以通过良好的合作行为提供高质量服务来提高自身的信誉。考虑时间的因素是处理节点行为的突然改变的有效方法, PeerTrust<sup>[18]</sup>、TrustGuard<sup>[19]</sup>、DyTrust<sup>[23]</sup> 等关注节点行为突变的信誉模型采用了类似的方法。

除了直接信任值, 节点  $i$  对于产生该值的信心也十分重要, 称之为信心因子。信心因子的计算基于经验元信息, 经验元信息包括经验数目和经验变化的情况, 后者包括经验变化的幅度和经验产生的时间。

基于经验数目所得到的信心因子记为  $CIN_{ij}^n$ , 定义如下:

$$CIN_{ij}^n = \begin{cases} \frac{n}{m} & \text{if } n \leq m \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $n$  为集合  $Exp(i, j, c)$  中元素的数目, 因此当经验数目从 0 增加到阈值  $m$  时, 信心因子  $CIN_{ij}^n$  从 0 增加到 1, 当  $n$  超过  $m$  时信心因子为 1 并保持不变。也就是说, 节点的经验越多, 对产生的直接信任评价的信心越高。

基于经验评价价值的变化和和经验发生的时间所获得的信心因子记为  $CID_{ij}^t$ , 用来表征节点行为的一致性, 并且近期行为具有更大的影响。  $CID_{ij}^t$  使用式(2)进行计算:

$$CID_{ij}^t = 1 - \frac{1}{2} \frac{\sum_{e \in Exp(i, j, c)} \alpha^{(t-e.t)} |e \cdot v - D_{ij}^t|}{\sum_{e \in Exp(i, j, c)} \alpha^{(t-e.t)}} \quad (3)$$

$CID_{ij}^t$  的取值范围为 0 到 1。当  $CID_{ij}^t$  接近于 0

时, 意味着事务评价价值变化很大, 节点  $j$  提供的服务质量起伏较大, 对直接信任评价的信心很低; 当  $CID_{ij}^t$  接近于 1 时, 意味着事务评价价值变化不大, 节点  $j$  提供的服务质量比较稳定, 对直接信任评价的信心很高。另外, 在节点之间交互产生的满意度评价除了和服务提供者提供服务质量的高低有关外, 还受到各种外部因素的影响, 例如实时的网络带宽, 网络速度等影响, 因此节点产生的满意度评价的不一致性, 可能是由这些外部因素造成的。基于此考虑, 在节点行为的一致性评价时我们采用更加宽容温和的态度, 取值为  $1/2$ 。

最后, 基于上述两个信心因子指标, 节点  $i$  对节点  $j$  的直接信任评价的信心因子  $CF_{ij}^t$  定义为:

$$CF_{ij}^t = CIN_{ij}^t \cdot CID_{ij}^t \quad (4)$$

因此, 节点  $i$  和节点  $j$  之间交互的次数越多, 并且节点  $j$  提供的服务质量稳定, 那么节点  $i$  对节点  $j$  的直接信任评价的信心越高。

### 2.1.2 间接信任评价

CERep 使用 DevelopTrust<sup>[21]</sup> 提出的构建信任图的方法, 通过邻居节点之间的相互引荐进行信誉信息的收集。假如节点  $i$  向邻居节点发送关于节点  $j$  的推荐请求, 假设  $T_i = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  为向节点  $i$  提供推荐的见证节点集合, 对于  $p_k \in T_i$ , 那么节点  $k$  基于自身的直接信任评价向节点  $i$  提供的推荐为  $\langle Rec_{kj}^t, RCF_{kj}^t \rangle$ , 对于诚实的推荐节点, 等式  $Rec_{kj}^t = D_{kj}^t$  和  $RCF_{kj}^t = CF_{kj}^t$  成立。推荐中包含信心因子的一个好处是允许推荐请求者来度量推荐者对所提供的推荐值的信心。如果信心因子较低, 则推荐值在间接信任值的计算上具有较小的影响。

节点  $i$  对节点  $j$  的间接信任值记为  $R_{ij}^t$ , 使用下列式(5)进行计算:

$$R_{ij}^t = \frac{\sum_{p_k \in T_i} Cr_{ik}^t \cdot RCF_{kj}^t \cdot Rec_{kj}^t}{\sum_{p_k \in T_i} Cr_{ik}^t \cdot RCF_{kj}^t} \quad (5)$$

其中  $Cr_{ik}^t$  是节点  $i$  对节点  $k$  的推荐可信度评价, 反映了节点  $k$  为节点  $i$  提供推荐的可信度。因此, 节点  $i$  给予来自更可信推荐者和更高信心因子的推荐值更大的权重。

### 2.1.3 综合信任评价

基于直接信任评价和间接信任评价, 节点  $i$  对节点  $j$  的综合信任评价观点  $O_{ij}^t$  定义为:

$$O_{ij}^t = \lambda \cdot D_{ij}^t + (1 - \lambda) \cdot R_{ij}^t \quad (6)$$

其中,  $D_{ij}^t$  表示节点  $i$  对节点  $j$  的直接信任值,  $R_{ij}^t$  表示节点  $i$  对节点  $j$  的间接信任值,  $\lambda$  为信任评价的信心因子,  $\lambda$  的取值和交互的数目有关, 交互的数目

越多则  $\lambda$  取值越大,  $0 \leq \lambda \leq 1$ , 我们可以取  $\lambda = n/m$ , 其中  $n$  为节点  $i$  和节点  $j$  之间交互的数目,  $m$  为设定的交互数目阈值, 当  $n \geq m$  时, 取  $\lambda = 1$ 。

## 2.2 推荐可信度计算模型

为了克服第一节分析的现有推荐可信度计算方法的缺点, 本文提出了一个新的推荐可信度计算模型。该计算模型具有两个重要的特征: (1) 把提供推荐作为一个正常的服务来看待, 基于节点所提供的所有推荐的质量来评价其推荐可信度, 可以处理复杂的不诚实推荐策略。例如节点通过提供诚实推荐累积一定的推荐可信度后开始提供不诚实的推荐; (2) 为了得到一个更加公平的推荐可信度评价, 推荐可信度模型考虑推荐者对所提供的推荐值的信心因子。如果具有较低信心因子的推荐不正确, 那么推荐可信度不会大幅度下降。因此, 如果节点的推荐基于少量的交互或者(并且)目标评价节点的服务质量变化很大, 节点可以赋予推荐值较低的信心因子, 那么诚实的推荐节点被错误划分为不诚实节点的概率会减少。

在  $t$  时刻, 节点  $i$  对节点  $j$  的推荐可信度记为  $Cr_{ij}^t$ , 取值为  $[0, 1]$ , 代表了节点  $i$  对节点  $j$  提供的推荐是否真实可信的信心指数。推荐可信度评价基于自身存储的推荐满意度评价信息计算获得, 可以避免不正确的推荐可信度在网络中传播, 同时也降低了评估的复杂性。

具体来讲, 节点  $i$  和节点  $j$  完成一次交互之后, 节点  $i$  对节点  $j$  提供的服务满意度评价记为  $V_{ij}$ , 如果节点  $i$  接收到节点  $k$  提供的关于节点  $j$  的推荐  $\langle V_{kj}, CF_{kj} \rangle$ , 那么节点  $i$  对节点  $k$  这次提供的推荐的满意度  $V_w$  使用下列式(7)进行计算:

$$V_w = 1 - |V_{kj} - V_{ij}| \quad (7)$$

推荐值和实际服务满意度评价差值越大, 那么节点  $i$  对节点  $k$  提供的推荐满意程度就越低, 推荐可信度也就越低。反之, 如果节点  $k$  提供的推荐和实际服务质量越接近, 那么节点  $i$  对节点  $k$  提供的推荐满意程度就越高, 从而推荐可信度越高。

节点  $i$  对节点  $k$  本次提供的推荐满意度评价  $r = (i, k, t, C_{rec}, V_w, CF_w)$  存入节点  $i$  的本地数据库中,  $C_{rec}$  表示信任评价的上下文为提供推荐,  $t$  表示节点  $k$  向节点  $i$  提供推荐时的时间,  $CF_w = CF_{kj}$ 。节点  $i$  对节点  $k$  进行推荐可信度评价时, 节点  $i$  从本地数据库中获取和节点  $k$  相关的推荐满意度评价(记为  $Rec(i, k, C_{rec})$ ), 节点  $i$  对节点  $k$  的推荐可信度使用下列公式进行计算:

$$Cr_{ik}^t = \begin{cases} \frac{\sum_{e \in Rec(i, k, C_{rec})} e \cdot V_w \cdot \alpha^{t-e \cdot t} \cdot e \cdot CF_w}{\sum_{e \in Rec(i, k, C_{rec})} \alpha^{t-e \cdot t} \cdot e \cdot CF_w} & \text{if } Rec(i, k, C_{rec}) \neq \emptyset \\ c_0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $\alpha$  是式(1)中所使用的衰减因子, 取值范围为  $(0, 1)$ ,  $e \cdot CF_w$  是对推荐值的信心因子,  $e \cdot V_w$  是推荐  $e$  满意度评价。如果没有相关的推荐满意度评价记录, 那么节点  $i$  分配给节点  $k$  缺省的推荐可信度的评价  $c_0$ ,  $c_0$  的取值由节点自身来决定, 如果节点采用乐观策略可以赋予陌生节点较高的推荐可信度, 相反采用悲观策略则赋予陌生节点较低的推荐可信度。

## 3 实现策略

下面介绍本文提出的信誉机制 CERep 的分布式实现策略, 主要包括系统实现架构、运行性能分析及优化方案两个方面。

### 3.1 系统实现架构

信誉机制 CERep 的系统实现架构如图 1 所示, 节点信任管理实现三个部件完成: 推荐交换管理器、信誉信息管理器 and 信任计算引擎。应用逻辑利用信任计算引擎的信任评价结果进行信任决策, 事务评价结果提交给信誉信息管理器进行存储。

推荐交换管理器负责节点间推荐信息的交换。推荐交换管理器完成两个主要功能: (1) 利用 DevelopTrust 提出的信誉信息收集算法进行推荐信息的收集, 提交给信誉信息管理器; (2) 处理其他节点的信誉信息查询请求。当收到节点的信任查询请求时, 进行如下处理: 1) 如果节点和目标评价节点具有直接交互经验, 则根据信誉信息管理器返回的关于目标评价节点的直接经验构建推荐信息(直接信任值和信心因子), 并把构造的推荐信息返回给信誉信息查询节点; 2) 如果信誉信息查询转发的深度  $TTL$  大于 0, 则把邻居节点作为引荐发送给信誉信息查询节点。

信誉信息管理器负责信誉信息的存储和处理查询请求。管理的信誉信息主要包括直接经验和从其他节点获得的推荐信息两个部分。考虑到节点可能会随着时间改变其行为, 早期的事务评价对信任值的计算影响较小, CERep 信誉机制只保存最近一段时间  $D$  之内的交互经验, 一方面可以有效应对节点行为的动态性, 增强信誉机制的动态适应能力, 另一方面能够减少信誉系统的存储负担。

信任计算引擎基于信誉信息管理器提供的信

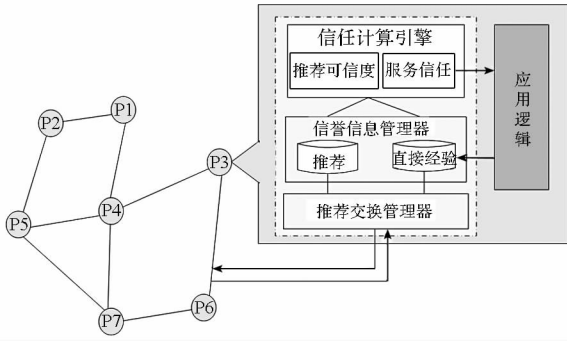


图1 CERep 实现架构示意图

Fig.1 CERep system architecture

誉信息进行推荐可信度和服务信任的评估。基于直接经验中的推荐满意度历史记录计算节点的推荐可信度,基于收集的信誉信息,包括直接经验和推荐进行信任评价,应用逻辑利用信任评价的结果进行信任决策,如果进行交互,则把服务满意度和推荐满意度提交给信誉信息管理器。

### 3.2 运行性能分析及优化方案

CERep 信誉机制其系统运行开销主要来源于保存历史交互评价的存储开销、节点信任度的计算开销以及节点间信息交换引起的网络开销。在 CERep 中,历史交互评价包括服务满意度评价和推荐满意度评价,节点只存储在最近一段时间  $D$  内对其他节点提供的服务或者推荐的满意度评价,节点信任度的计算由感兴趣的节点进行计算。因此,相对于当前计算机的存储与计算能力,系统的存储和计算开销是可以接受的。CERep 信誉机制的主要负担来自于信誉信息查询,每条消息比较小,信誉信息查询的代价和消息的数目密切相关。假设系统中任意两个节点存在交互的可能性是  $p$ ,随机变量  $X$  代表要获得  $n_r$  个推荐需要查询的节点数,那么

$$\Pr(X = x) = \binom{x-1}{n_r-1} p^{n_r} (1-p)^{x-n_r},$$

并且  $E[X] = \frac{n_r}{p}$ ,  $\text{Var}[X] = \frac{n_r(1-p)}{p^2}$ 。查询负担和节点之间交互频度成反比,例如,如果  $n_r = 20$ ,当  $p = 0.1$  时,需要查询的节点数平均值为 200,当  $p = 0.2$  时,需要查询的节点数平均值为 100。上述估计是一般性的估计,没有考虑系统的网络半径,实际上,在 CERep 信誉机制中节点和有限跳步之内的节点交互频繁,因此查询开销会大大低于上述计算结果。

为了降低信誉信息查询开销,可以采用一定的优化措施。在一次事务交互中,节点通常选择一个可信的节点进行交互,计算获得的其他候选

服务提供者的信任值则被删除。为了减少查询开销,节点可以维护一个信任值 cache,把未被选中的节点的信任值缓存起来,并设定有效期。当节点  $i$  需要对节点  $j$  进行信任评价时,首先查看其信任值 cache,如果 cache 命中并且在有效期内,则无须重新计算节点  $j$  的信任度,否则对节点  $j$  重新进行信任评价。随着节点间交互的增多,信任值 cache 命中率会提高,从而可以有效减少信誉信息查询开销。

## 4 模拟实验及结果分析

本节通过模拟实验评价本文提出的信誉机制 CERep 的有效性,从两个方面进行验证:(1) 是否能够有效应对不诚实推荐对信誉系统的攻击,诸如合伙欺骗和夸大诋毁行为;(2) 是否能够检测出复杂场景下的不诚实推荐策略。

### 4.1 实验设置

本文采用和典型的基于局部信誉信息的信任模型 DevelopTrust 基本一致的模拟环境,使用相同的系统拓扑和欺骗模型,为了模拟更复杂的恶意推荐策略(如提供良好服务的同时提供不诚实推荐;累积一定的推荐可信度后提供不诚实推荐),在实验设置上做少许改变。系统拓扑初始化为有向随机图,平均每个节点具有 4 个邻居和 16 个熟人节点。欺骗模型如式(9)所示,定义了三种欺骗方式:相反、正面夸大、负面夸大。 $\rho$  ( $0 < \rho < 1$ ) 为夸大因子, $s$  为真实的信任评价, $s'$  为所提供的推荐,在此不作详细解释。

$$s' = \begin{cases} 1-s & \text{相反} \\ \rho + s - \rho s & \text{正面夸大} \\ s - \rho s / (1-\rho) & \text{负面夸大} \end{cases} \quad (9)$$

模拟社群包含  $N$  个节点, $N$  缺省设为 128。系统为每个节点分配一个服务向量和一个查询向量,分别表示其提供服务的类别和感兴趣的服务类别,两个都是五维向量,表示五种服务类别( $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5$ ),每个节点随机分配一种或者两种其提供的服务和感兴趣的服务类别。假设节点  $i$  的服务向量为(1, 1, 0, 0, 0)表示其提供  $e_1$  和  $e_2$  两种服务类别的服务,节点  $i$  的查询向量为(0, 0, 1, 0, 0)表示其对服务类别  $e_3$  感兴趣。在 CERep 信誉机制中,节点在事务交互中作为服务提供者建立的信任不依赖于提供推荐建立的推荐信任,因此把节点的这两种角色称为提供服务 and 提供推荐。节点根据提供服务的角色可以分为良好行为节点、静态不良行为节点和动态不良行为节点。良好行为节点在事务交互中提供高质量服

务,静态不良行为节点在事务交互中提供低质量的服务,动态不良行为节点策略性地改变行为方式。节点根据提供推荐的角色可以分为诚实推荐节点、静态不诚实推荐节点和动态不诚实推荐节点。诚实推荐节点提供诚实推荐,静态不诚实推荐节点一直提供错误推荐,动态不诚实推荐节点策略性地提供推荐,我们模拟了开始提供诚实推荐之后提供不诚实推荐的动态不诚实节点。

系统中不良行为节点的比率为  $pb$ ,不诚实推荐节点的比率为  $pf$ 。表 1 为模拟实验的参数设置。在缺省设置中,50%的不良行为节点为静态不良行为节点,另外 50%的不良行为节点为动态不良行为节点,动态不良行为节点以 50%的概率提供低质量的服务,所有的不诚实推荐节点为静态不诚实节点,其提供和真实评价相反的推荐,推荐的信心因子设为 1。把模拟时间分为若干个时间单元,在每个时间单元,每个节点发送一个服务请求,当节点接收到服务请求时,查看其服务向量,如果可以提供该类服务,则以  $res$  的可能性应答服务请求,在实验中  $res$  设为 0.5。实验的仿真环境为 PIV 1.6GHz,512MB。仿真基于 Java 实现。

表 1 模拟参数表

Tab. 1 Simulation parameters

参数	描述	缺省值	
$N$	社群节点总数	128	
社群设置	$pb$	不良行为节点比率	80%
	$pf$	不诚实推荐节点比率	80%
	$res$	响应服务请求的可能性	0.5
信誉机制参数	$\alpha$	时间衰减因子	0.9
	$c_0$	初始推荐可信度	0.5
	$TTL$	引荐链的转发深度	4
	$B$	分支因子	2
	$\rho$	夸大因子	0.1
	$D$	滑动时间窗口	100
	$m$	式(2)中的交互门槛值	5

### 4.2 信誉机制有效性评估

通过实验来评价 CERep 信誉机制对合伙欺骗和非合伙欺骗的免疫力,展示信誉机制所带来的收益,并且和 DevelopTrust 进行比较。

模拟两种事务交互环境,随机选择环境和可信环境。在随机选择环境中,节点从服务请求应答节点中随机选择一个节点作为服务提供者。在可信环境中,节点选择最大信任值的节点进行交

互。在事务交互中,如果服务提供者提供的是高质量服务,那么该事务被认为是成功事务,否则称之为失败事务。我们定义事务成功率为一段时间以来所完成的成功事务总数和全部事务总数的比值。具有更高事务成功率的社群具备更高的效率和更强的安全层次。

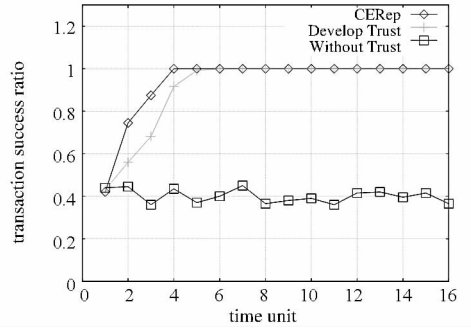


图 2 非合伙欺骗场景下有效性评估

Fig. 2 Effectiveness evaluation in non-collusive setting

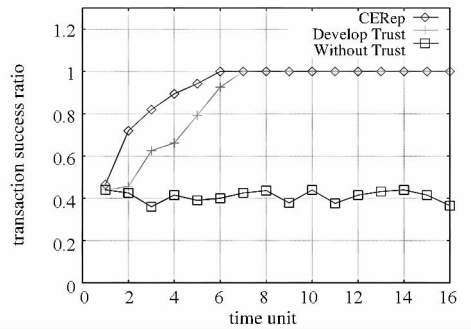


图 3 合伙欺骗场景下有效性评估

Fig. 3 Effectiveness evaluation in collusive setting

图 2 和图 3 显示了在非合伙欺骗和合伙欺骗情况下良好行为节点的事务成功率随时间的变化情况。我们可以看到无论在合伙欺骗还是非合伙欺骗的情况下具有信任机制的社群其节点的事务成功率获得显著提高。本文提出的信誉机制 CERep 和 DevelopTrust 在两种实验设置下都能够帮助节点避免和不良服务提供者进行交互,即使在合伙欺骗的情况下不良行为节点也能够被有效地标识出来。但在合伙欺骗的情况下,不诚实节点的合伙欺骗行为更大地影响了节点的判断,需要更长时间的交互才能区分出良好行为节点和不良行为节点,并且可以看出在两种实验设置中 DevelopTrust 需要更多的交互才能有效区分两种类型的节点,所以 CERep 信誉机制在性能上优于 DevelopTrust 信任模型。这是因为:1) DevelopTrust 把节点推荐可信度初始化为 1,给予不诚实节点较高的权重,而 CERep 信誉机制把节点推荐可信度初始化为 0.5,则比较合理,诚实节点的推荐可信度会提高,不诚实节点的推荐可信度会下降,使

得诚实节点提供的推荐在信任评价中具有相对更高的权重,可以获得更为正确的评价;2) CERep 信誉机制在推荐评价时,考虑推荐信心因子,可以实现正确的信任评价和更公平的推荐可信用度评价,后者在下一节的实验中得到了充分验证。

### 4.3 节点诚实度预测

本节定义平均推荐可信用度来评估本文提出的推荐可信用度计算模型。

定义1:见证节点 $j$ 的平均推荐可信用度  $Cre_j$  定义为:

$$Cre_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Cr_{ij} \quad (10)$$

其中  $Cr_{ij}$  为节点  $i$  的熟人模型中见证节点  $j$  的推荐可信用度,  $N$  为接收到见证节点  $j$  提供的推荐的节点总数。

#### 4.3.1 动态策略性行为改变的敏感性测试

本实验目的是检验 CERep 的推荐可信用度模型对节点提供推荐时动态策略性行为改变是否敏感。在实验设置中,除一个节点是动态不诚实推荐节点外,社群中其他节点都提供诚实推荐,本文模拟了动态不诚实推荐节点的两种行为改变模式:1) 节点通过提供诚实的推荐建立较高的推荐信任之后提交不诚实推荐;2) 具有较低推荐可信用度的节点通过提供诚实推荐试图提高其推荐可信用度。

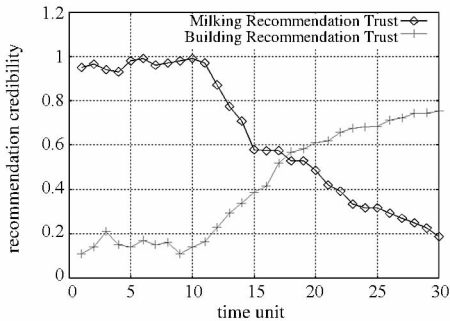


图4 动态策略性行为改变的敏感性测试

Fig. 4 Sensitiveness to strategically alter behaviors of peers of witnesses

图4显示了动态推荐节点在两种行为模式下推荐可信用度的变化,节点通过提供诚实推荐建立的推荐信任由于不诚实推荐行为会迅速下降,而不诚实的推荐节点也会由于提供诚实的推荐而重新建立推荐信任。结果显示 CERep 的推荐可信用度模型对动态推荐节点的行为改变是敏感的,能够有效检测出节点推荐行为的变化。这是因为在推荐可信用度计算时给予节点的近期推荐评价更高的权重,因而具有更好的适应能力。

#### 4.3.2 不同夸大因子的检测效果

本实验考察 CERep 的推荐可信用度计算模型对节点不同程度欺骗行为的检测效果。图5显示了负面评价夸大因子  $\rho$  分别为 0.2、0.3 和 0.5 时节点平均推荐可信用度随时间的变化。三种类型的负面夸大节点在 10 个时间单元以后其平均推荐可信用度分别接近 0.8、0.7 和 0.5。这表明 CERep 的推荐可信用度模型可以有效检测节点不同程度的欺骗行为。这是由于 CERep 的推荐可信用度计算方法把提供推荐作为一个正常的服务来看待,基于节点提供的所有推荐的质量来评价其推荐可信用度,因而准确性更高。

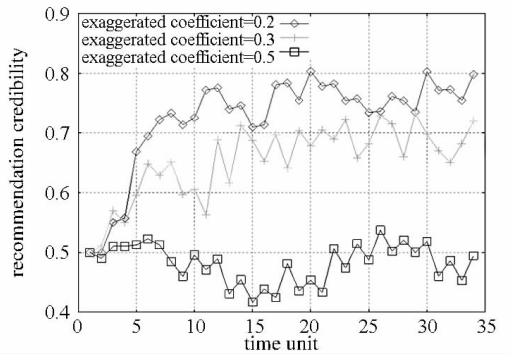


图5 不同夸大因子的见证节点的平均推荐可信用度  
Fig. 5 Average recommendation credibility for different exaggeration coefficients

#### 4.3.3 信心因子的影响

本实验观察信心因子对推荐可信用度评价的影响,考察 CERep 的推荐可信用度计算模型是否给诚实推荐节点分配了公平的推荐信任值。在实验中我们把所有的不良行为节点都设置为动态不良行为节点,即 80% 的节点都是动态不良行为节点,这些动态不良节点交替提供高质量服务和低质量服务,所有节点都是诚实节点,提供诚实推荐。

图6显示了推荐信心因子对节点推荐可信用度的影响。从图中可以看出:在推荐可信用度评价时,如果不考虑推荐信心因子,诚实节点会由于不正确推荐而受到惩罚,相反,如果考虑信心因子,则可以实现对诚实节点的推荐可信用度更为公平的评价。在 CERep 信誉机制中,节点提供的推荐包括直接信任值和信心因子两个部分,信心因子考虑了经验的数目和经验的变化,节点可以给予服务质量变化较大的节点较低的信心因子,当推荐值和实际的交互结果不符时,信心因子可以影响推荐信任度的变化,节点的推荐可信用度不会大幅下降,降低了诚实节点被错误划分为不诚实节点的概率。因此,本文提出的信誉机制 CERep 和其他基于局部信誉信息的信誉系统相比可以实现对节



点推荐可信度更为公平的评价。

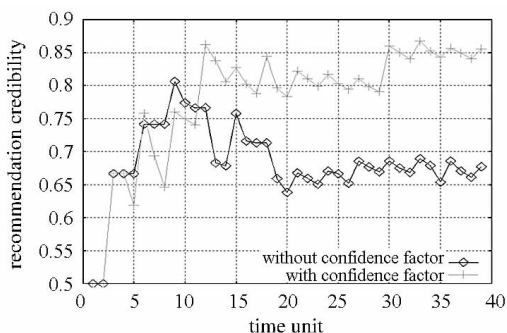


图 6 信心因子的影响

Fig. 6 Impact of level of confidence

## 5 结束语

已有的基于局部信誉信息的信誉系统难以有效处理节点的复杂策略不诚实推荐行为,可能把提供诚实推荐的节点错误划分为不诚实节点。针对这些问题,本文提出了一种可信度增强的信誉机制 CERep,节点基于自身经验和来自其他节点的推荐实现信任评价。节点基于自身的经验产生的直接信任评价,除了包含直接信任评价价值外,还包含关于此评价的信心因子。在推荐可信度计算时考虑信心因子的影响,能够有效应对复杂策略的不诚实推荐行为,还可以有效避免诚实推荐的节点被划分为不诚实节点,实现对节点推荐可信度更公平的评价。在聚合其他节点提供的推荐进行信任评价时考虑推荐者的推荐可信度和信心因子,给予来自诚实的节点推荐和包含更高质量的推荐更大的权重,提高了信任评价的准确性。下一步我们将在真实的应用系统中进行部署和运行,以进一步验证信誉机制的有效性,有助于发现新的问题和提出进一步的研究方向。

## 参考文献 (References)

- [1] Dellarocas C. Reputation mechanism design in online trading environments with pure moral hazard [J]. *Information Systems Research*, 2005, 16 (2): 209 - 230.
- [2] Walch K, Siner E G. Experience with an object reputation system for peer-to-peer file sharing [C]//*Proceedings of the 3rd Conference on Networked Systems Design & Implementation*, 2006, 3: 1 - 14.
- [3] Resnick P, Kuwabara K, Zeckhauser R, et al. Reputation systems [J]. *Communications of the ACM*, 2000, 43 (12): 45 - 48.
- [4] Jøsang A, Ismail R, Boyd C. A survey of trust and reputation systems for online service provision [J]. *Decision Support Systems*, 2007, 43 (2): 618 - 644.
- [5] Zhang Q, Yu T, Irwin K. A classification scheme for trust functions in reputation-based trust management [C]//*ISWC Workshop on Trust, Security, and Reputation on the Semantic Web*, Hiroshima, Japan, 2004.
- [6] Zhao H Y, Li X L. H-Trust: A group trust management system for peer-to-peer desktop grid [J]. *Journal of Computer Science and Technology*, 2009, 24 (5): 833 - 843.
- [7] Aberer K. P-Grid: A self-organizing access structure for P2P information systems [C]//*Proceeding of the Sixth International Conference on Cooperative Information Systems*, 2001, LNCS 2172: 179 - 194.
- [8] Ratnasamy S, Francis P, Handley M, et al. A scalable content-addressable network [C]// *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2001, 31 (4): 161 - 172.
- [9] Sabater-Mir J. Trust and reputation for agent societies [D]. Barcelona: University Autònoma de Barcelona, 2002.
- [10] Withby A, Jøsang A, Indulska J. Filtering out unfair ratings in Bayesian reputation systems [J]. *The Icaifan Journal of Management Research*, 2005, 4 (2): 48 - 64.
- [11] Dellarocas C. Immunizing online reputation reporting systems against unfair ratings and discriminatory behavior [C]//*Proceedings of ACM Conference on Electronic Commerce*, 2000: 150 - 157.
- [12] Chen M, Singh J P. Computing and using reputations for internet ratings [C]//*Proceedings of the ACM Conference on Electronic Commerce*, 2001: 154 - 162.
- [13] Kamvar S D, Schlosser M T, Garcia-Molina H. EigenRep: reputation management in p2p networks [C]//*Proceedings of The Twelfth International World Wide Web Conference*, Budapest, Hungary, 2003: 123 - 134.
- [14] Aberer K, Despotovic Z. Managing trust in a peer-2-peer information system [C]//*Proceedings of the 10th International Conference on Information and Knowledge Management*, 2001: 310 - 317.
- [15] Marti S, Garcia-Molina H. Limited reputation sharing in p2p systems [C]//*Proceedings of the 5th ACM Conference on Electronic Commerce*, 2004: 91 - 101.
- [16] Resnick P, Iacovou N, Suchak M, et al. GroupLens: An open architecture for collaborative filtering of netnews [C]//*Proceedings of ACM 1994 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, 1994: 175 - 186.
- [17] Breese J S, Heckerman D, Kadie C. Empirical analysis of predictive algorithms for collaborative filtering [C]//*Proceedings of the Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 1998: 43 - 52.
- [18] Xiong L, Liu L. PeerTrust: Supporting reputation-based trust in peer-to-peer communities [J]. *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering*, 2004, 16 (7): 843 - 857.
- [19] Srivatsa M, Xiong L, Liu L. TrustGuard: Countering vulnerabilities in reputation management for decentralized overlay networks [C]//*Proceedings of 14th International Conference on World Wide Web*, 2005: 422 - 431.
- [20] Xiong L. Resilient reputation and trust management: models and techniques [D]. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2005.
- [21] Yu B, Singh M P, Sycara K. Developing trust in large-scale peer-to-peer systems [C]//*Proceedings of First IEEE Symposium on Multi-Agent Security and Survivability*, 2004: 1 - 10.
- [22] Huynh T D, Jennings N R, Shadbolt N. On handling inaccurate witness reports [C]//*Proceedings 8th International Workshop on Trust in Agent Societies*, 2005: 63 - 77.
- [23] 常俊胜, 王怀民, 尹刚. DyTrust: 一种 p2p 系统中基于时间帧的动态信任模型 [J]. *计算机学报*, 2006, 29 (8): 1301 - 1307.

CHANG Junsheng, WANG Huaimin, YIN Gang. DyTrust: A time-frame based dynamic trust model for p2p systems [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2006, 29 (8): 1301 - 1307. (in Chinese)