

电子商务下的信任网络构造与优化

甘早斌 曾 灿 李 开 韩建军

(华中科技大学计算机科学与技术学院 武汉 430074)

摘 要 电子商务环境中交易实体间的信任关系类似于传统商务环境中复杂的社会关系, 实体间的信任度量涉及到交易额、交易发生时间、消费实体个人收入及其对信任的风险态度等因素, 难以准确地给出量化计算. 为探明这种信任关系的本质特点, 结合现实生活中社会关系网络的一些认知理论和方法, 详细分析和定义了实体及实体关系的相关属性, 提出了一种信任网络描述的形式化模型, 研究了信任网络的构造方法, 建立了一套信任网络优化算法, 有效地降低了信任网络的复杂性. 最后, 给出了一套信任网络可视化自动生成工具, 通过实例应用分析表明, 信任网络形式化描述模型和优化算法可以很好地揭示电子商务环境中复杂的信任关系, 降低了信任度量算法的复杂度, 可为信任的传播机制和信任计算模型的研究提供理论基础.

关键词 电子商务; 信任网络; 网络优化; 信任计算

中图法分类号 TP393 **DOI 号:** 10.3724/SP.J.1016.2012.00027

Construction and Optimization of Trust Network in E-Commerce Environment

GAN Zao-Bin ZENG Can LI Kai HAN Jian-Jun

(School of Computer Science & Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract In e-commerce systems, the trust relationships between transaction entities are very complex as the social relationships in the traditional business environment. The trust evaluation is concerned with many factors, such as the volume of transactions, the trading time, the revenue of buyers, the attitude to trust risk, and so on. Therefore, it is very hard to be computed quantitatively and accurately. In order to explore the essential features of the trust relationships, some concepts of trust and trust relationships are defined in terms of human cognitive methods and behaviors in society. Also, this paper presents a formal description model based on the trust network. Considering to the reputation propagation discipline, this paper proposes optimization algorithms for the trust network which can effectively simplify the complex network relationship. Finally, a visual generation tool for the trust network is given. The practical application example shows that the formal description model and the optimization algorithms can intuitively show the complex trust relationships in e-commerce systems, reduce the complexity of trust computing algorithm, and build the theoretical principle for studying on trust propagation mechanism and trust evaluation model.

Keywords e-commerce; trust network; network optimization; trust computing

收稿日期:2011-02-27; 最终修改稿收到日期:2011-05-11. 本课题得到国家自然科学基金(70672041)、湖北省自然科学基金(2007ABA307)、中央高校基本科研业务费(2010MS112)资助. 甘早斌, 男, 1968 年生, 博士, 副教授, 中国计算机学会(CCF)高级会员, 主要研究方向为电子商务、信任计算、Agent 技术等. E-mail: zgan@mail.hust.edu.cn. 曾 灿, 男, 1986 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为信任计算、多 Agent 系统. 李 开, 男, 1968 年生, 博士, 讲师, 主要研究方向为电子商务、信任计算、多 Agent 系统等. 韩建军, 男, 1972 年生, 博士, 副教授, 主要研究方向为并行计算、信任计算等.

1 引言

在大规模、开放的网络环境中,电子商务交易具有匿名性、随机性和动态性^[1]的特点,交易双方往往互不相识,仅仅通过网络来交换信息,这使得双方失去了传统商务环境下信任所依赖的基础,身份欺诈、虚假信息发布、拒绝或延期交货、质量和售后服务等问题已成为电子商务健康发展的瓶颈.因此,电子商务的信任机制日益成为业内人士关注的焦点.

近年来,国内外一些学者针对不同的应用环境,在信任度量方面进行了大量的研究,并取得了一系列研究成果,典型的有基于声誉的信任模型^[2-3]、基于证据理论的信任模型^[4]、基于模糊数学的信任模型^[5-6]、基于主观逻辑的信任模型^[7-8]等.从这些研究成果来看,随电子商务交易实体个数的增加,信任计算的时间复杂度和空间复杂度则成指数级增加,如何来降低信任计算的时间和空间复杂度而保证信任计算的实时性、动态性和准确性是信任度量进一步走向实用化的关键.另一方面,目前大型电子商务网站(如 eBay^[1]、淘宝^[9])所采用的基于声誉的信任评价机制比较简单,仅仅通过每个买家对卖家完成一笔交易后给出的声誉评价结果求均值,没有考虑血缘、朋友、同事等社会关系网络以及口碑(Word-of-Mouth)作用的支持,不排除卖家自己注册多个买家的账户、多次购买并给予自己高的声誉评价的欺诈行为,这样卖家的总的信用评价结果的可信度就较差.因此,在计算卖家声誉评价时引入社会关系网络也是非常重要的.

基于以上两点,我们将社会关系网络中的一些属性引入到虚拟电子商务环境中来,着重研究电子商务环境下的信任关系网络的本质内涵,建立一套适用于电子商务下的信任网络描述模型,深入研究信任网络的构造方法和优化算法,可以将信任网络进行优化,达到控制信任网络规模和降低信任计算的时间复杂度和空间复杂度以及增加信任评价的可信度的目的.同时,为研究信任的传播机制和进一步改进信任计算模型提供理论基础.

本文第 2 节综述已有相关工作的研究进展情况;第 3 节详细分析和定义信任网络中相关对象及其关系属性,提出一种信任网络的形式化描述模型;第 4 节详细讨论信任网络的构造方法以及优化算法;第 5 节介绍信任网络自动生成的可视化工具,通过一个实例讨论和分析信任网络的构造和优化方法;第 6 节总结全文,并对下一步的工作进行讨论.

2 相关工作

1994 年,Marsh 率先将社会学范畴的信任概念引入到计算机领域,并针对多 Agent 系统中的信任和合作问题,采用形式化的符号定义了信任的一些基本属性,给出了一种基于线性方程的信任度量算法,为信任模型在计算机领域的应用奠定了基础^[10].随后,Blaze 等学者^[11]在通信系统安全问题研究上,将信任管理单独提出作为信息系统的重要组成部分,提出了信任管理的基本概念,通过简单的语言来表明信任的行为和信任的关系,并将信任管理机制引入到分布式系统中,构造了第一代信任管理系统 PolicyMaker 用于分布式系统中权限分配和管理工作.

Clifford 等学者^[12-13]采用太阳系行星之间的关系来刻画节点之间的信任关系,提出了一种 Solar Trust Model 模型,并给出了在分布式环境中计算信任传播最佳路径算法.基于 Solar Trust Model 的信任网络系统模拟太阳系行星的运行,将处于中心地位的实体称为 Star,与实体 Star 有直接信任关系的实体称为 Planet,与 Star 有间接信任关系的实体称为 Moon.处于同一轨道的行星对 Star 来说具有相同等级的信任度,离 Star 轨道越远的行星对其的信任度就越小.Solar Trust Model 只能描述简单的网络情况,针对特定的 Moon 只能属于特定的 Star,不能属于多个 Star,即无法描述一个实体与其它多个实体之间的信任关系,因此,不能描述多实体之间复杂的信任关系网络.文献[14]对信任关系进行了细化,强调不同交易金额服务的信任度是不一致的.如节点 A 对 B 的信任,根据交易金额不同,可以有不同的信任度.A 对 B 关于 \$1 交易的信任度和关于 \$1000 的交易信任度是不一致的,并根据不同交易金额服务构造了一个简易的信任网络,用于评价其它节点的信誉度.但是相同 Solar Trust Model 中构造的信任模型一样也存在信任网络模型无法描述多对多关系的情况,在实际的网络环境中难以推广和实施.

Josang 等学者^[8]从间接信任和直接信任度量的角度,讨论了串行信任传递路径简化问题和并行信任路径合并问题,进而提出了一种使用主观逻辑分析信任网络的方法(TNA-SL),仅适用于节点比较少的情况.文献[15]采用收集用户个性化标签信息来识别用户的兴趣相似度,然后通过用户兴趣相似度来自动生成用户之间的信任网络关系.但是,他

们都没有考虑信任网络的形式化描述和信任网络的构造与优化问题. 文献[16]针对多 Agent 电子商务环境, 提出了一种简单的信任网络形式化描述模型, 并对信任网络进行初步的优化. 但是在信任网络的形式化描述中并没有考虑节点之间的信任度, 仅仅考虑了节点间的信任关系, 信任网络优化算法也没有考虑信任度的计算问题.

3 信任网络形式化模型

信任网络形式化建模的目的是通过一套形式化的语言清晰地表示出信任网络中的实体和实体之间的关系, 并为信任计算提供理论依据.

传统商务环境中, 卖家的声誉往往是通过买家与买家之间的血缘、朋友、同事等社会关系网络以及口碑(Word-of-Mouth)作用来相互传递和评价的. 同样, 在电子商务系统中我们也可将实体间的信任关系定义为一个信任网络, 口碑实际上就是信任网络中一个节点对另一个节点的信任值. 在某个信任网络 G 中每个实体(或对象)均称之为节点, 记为 n , 信任网络中所有节点的集合用符号 N 表示, $n \in N$. 发起信任评价请求的节点称为源节点, 记为 s , 源节点的集合用符号 S 表示, $s \in S$. 被评价的节点称为目标节点, 记为 t , 目标节点的集合用符号 T 表示, $t \in T$. 不属于 S 和 T 的节点都称为中间节点, 记为 i , 中间节点的集合用符号 I 表示, $i \in I$. 对于任意节点 $i(i \in I)$, 为帮助 s 对 t 做出评价而提供自己与 t 的交易评价信息的节点称之为推荐节点, 记为 r , 推荐节点的集合用符号 R 表示, $r \in R$ [16].

针对某一特定的信任评价过程, 源节点和目标节点有且仅有一个. 所以, 在某个信任网络 G 中, 源节点集合和目标节点集合中仅有一个元素. 在节点集合 N 中, 可以将传统商务环境中的血缘、朋友、同事等社会关系定义引入到电子商务中, 统一定义为朋友关系. 这样围绕朋友关系建立的信任网络对欺诈的推荐信任具有抑制作用.

定义 1. 朋友关系(Friend). 在某个信任网络 G 中, 节点 $i, j \in N$, 当节点 i 在其属性中标记节点 j 为其朋友时, 称 j 为 i 的朋友, 记为 $i \mapsto j$. 若 $i \mapsto j$ 成立, 则一定存在 $j \mapsto i$ 成立, 并称该性质为朋友关系的对称性. 所有具有朋友关系集合用符号 F 表示, 则有 $F = \{i \mapsto j | i, j \in N\}$.

定义 2. 直接朋友(Direct Friend). 在某个信任网络 G 中, 节点 $i, j \in N$, 如果 $i \mapsto j$, 则称 j 为 i 的

直接朋友, 记为 $fd(i, j)$. 所有直接朋友关系集合用符号 FD 表示, $fd(i, j) \in FD$.

定义 3. 间接朋友(Indirect Friend). 在某个信任网络 G 中, 节点 $i, j, k \in N$, 如果 $i \mapsto j$ 且 $j \mapsto k$, 则称 k 为 i 的间接朋友, 记为 $fid(i, k)$. 所有间接朋友关系集合用符号 FID 表示. $fid(i, k) \in FID$.

若 $i, k, m \in N, fd(i, k), fid(k, m)$, 则有 $fid(i, m)$.

若 $i, k, m \in N, fid(i, k), fd(k, m)$, 则有 $fid(i, m)$.

若 $i, k, m \in N, fid(i, k), fid(k, m)$, 则有 $fid(i, m)$.

定义 4. 陌生节点(Strange Node). 对某个信任网络 G , 在 N 中, 除了源节点、目标节点和朋友节点之外的节点称为陌生节点, 记为 s° . 陌生节点集合用符号 RS 表示, $s^\circ \in RS$.

在现实生活中, 朋友关系是对称的, 但朋友之间的信任关系是不对称的, 表现在朋友间彼此的信任程度是不一致的, A 和 B 为朋友, A 完全信任 B , 但可能 B 不完全信任 A , 对 A 仅有一定程度的信任. 由此可见, 在信任关系网络中两个朋友节点是有序关系. 如图 1 所示. 因此, 可以给出电子商务实体间信任关系的形式化定义.



图 1 两节点间的信任关系图

定义 5. 信任网络. 电子商务实体间的信任关系可定义为一个信任网络, 该信任网络可用一加权有向图 G 来形式化表示. $G = (V, E, T_v)$, 这里, V 表示有向图的顶点集合, $V = \{S, T, I\}$, E 表示顶点之间的关系集合, $E = \{R, F\}$, T_v 则表示顶点之间的信任值集合. 其中:

- (1) S 为源节点集合, $S = \{s | s \in N, \text{且 } s \text{ 为源节点}\}$;
- (2) T 为目标节点集合, $T = \{t | t \in N, \text{且 } t \text{ 为目标节点}\}$;
- (3) I 为中间节点集合, $I = \{i | i \in N, i \notin S, i \notin T\}$;
- (4) R 表示推荐关系节点集合, $R \subset N$;
- (5) F 表示朋友关系集合, $F = \{i \mapsto j | i, j \in N\}$;
- (6) T_v 表示对应于 F 中朋友关系之间的信任值集合.

为了方便在网络中明确表示出节点之间的关系, 源节点和目标节点采用双圆圈表示, 其它节点则采用单圆圈表示. 使用带有箭头直线表示两个节点之间的朋友关系. 朋友间的信任值则标识在直线上. 我们定义发生过交易的节点自动成为朋友节点. 在信任网络的可视化构造过程中, 一方面考虑到朋友

之间的信任关系是有序的(如图 1);另一方面为了保持信任网络的美观性,节点间的朋友关系用直线表示,所有的方向都是从左到右,信任网络图从源接点出发,止于目标节点.

假设一个信任网络 G 中有节点集 $V = \{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8, i_9\}$, 且节点之间满足:

$$(1) S = \{i_1\}, T = \{i_9\};$$

$$(2) R = \{i_5, i_6\};$$

$$(3) F = \{i_1 \mapsto i_2, i_1 \mapsto i_3, i_1 \mapsto i_4, i_2 \mapsto i_5, i_3 \mapsto i_5, i_6 \mapsto i_5, i_4 \mapsto i_6, i_5 \mapsto i_9, i_7 \mapsto i_9\};$$

$$(4) T_v = \{0.2, 0.6, 0.5, 0.8, 0.9, 0.5, 0.4, 0.7, 0.6\}.$$

则根据定义 5 可得出如图 2 所示的信任网络. 由图 2 可以得出

$$(1) N = \{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8, i_9\}, S = \{i_1\}, T = \{i_9\};$$

$$(2) I = \{i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8\}, RS = \{i_8\};$$

$$(3) FID = \{fid(i_1, i_5), fid(i_1, i_6)\};$$

$$(4) FD = \{fd(i_1, i_2), fd(i_1, i_3), fd(i_1, i_4)\}.$$

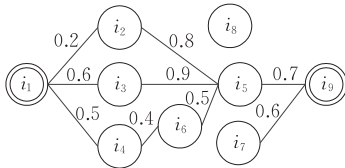


图 2 信任网络 G 的示意图

在实际中,信任网络是动态构造的,信任网络路径上的信任值也是动态变化的,某个信任网络是反映网络中源节点与目标节点当前时刻的信任网络关系,因此,在某个时刻 τ ,源节点和目标节点之间的信任网络可用 $G(\tau)$ 表示. 下面讨论信任网络 G 均是指某个时刻的信任网络 $G(\tau)$.

4 信任网络构造和优化算法

在第 3 节中,我们详细分析了信任网络中的实体及实体关系属性,给出了信任网络的形式化描述. 下面根据信任网络形式化描述模型,讨论信任网络的可视化构造方法,并分析信任在网络中的传播规则,建立信任网络的优化算法.

4.1 信任网络构造

实际上,信任网络的构造过程就是通过解析信任网络形式化描述语言,得到关于源节点、目标节点、中间节点、朋友节点等详细信息,然后分析这些信息,生成从源节点到目标节点的所有有效路径.

下面以一个较复杂的信任关系网络为例说明信任网络的构造方法. 根据信任网络的基本定义,假设一个信任网络 G 定义如下

$$(1) S = \{s\}, T = \{t\};$$

$$(2) N = \{i_1, i_2, i_3, \dots, i_{15}, i_{16}, i_{17}\}, R = \{i_2, i_8, i_9, i_{11}, i_{12}\};$$

$$(3) F = \{s \mapsto i_2, s \mapsto i_3, s \mapsto i_6, s \mapsto i_9, s \mapsto i_{11}, s \mapsto i_{12}, s \mapsto i_1\};$$

$$(4) T_v = \{0.80, 0.63, 0.80, 0.56, 0.64, 0.90, 0.67\};$$

$$(5) F = \{i_2 \mapsto t, i_3 \mapsto i_4, i_4 \mapsto i_5, i_5 \mapsto i_8, i_6 \mapsto i_7, i_7 \mapsto i_8\};$$

$$(6) T_v = \{0.75, 0.30, 0.70, 0.80, 0.70, 0.60\};$$

$$(7) F = \{i_9 \mapsto i_{10}, i_9 \mapsto t, i_{10} \mapsto i_8, i_{11} \mapsto i_{13}, i_{12} \mapsto i_{13}, i_{13} \mapsto i_{14}\};$$

$$(8) T_v = \{0.72, 0.95, 0.83, 0.20, 0.60, 0.75\};$$

$$(9) F = \{i_{14} \mapsto t, i_{17} \mapsto t, i_{16} \mapsto t, i_{11} \mapsto t, i_{12} \mapsto t\};$$

$$(10) T_v = \{0.83, 0.90, 0.84, 0.77, 0.65\}.$$

信任网络构造的方法是以源节点 s 为起点,以目标节点 t 为终点,扫描信任网络的形式化描述,得到若干条从 s 到 t 的路径. 将所有在 s 到 t 路径上的节点加入到网络中,并根据描述语言,在网络中标记出推荐节点,则可构造信任网络 G 的加权有向图,如图 3 所示.

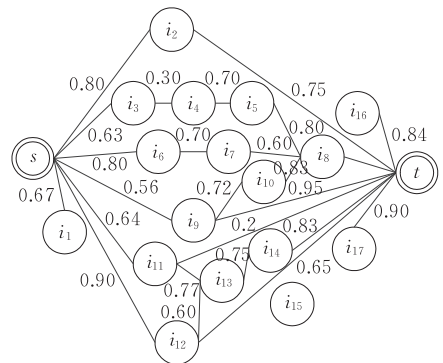


图 3 信任网络 G 的有向图

4.2 信任网络优化算法

信任网络优化的目的是简化网络关系,降低信任计算的复杂度,使得信任网络中只含有目标节点、推荐节点和源节点这 3 类节点. 信任计算模型就是根据这 3 类节点之间的信任传递关系来建立的.

根据传统商务环境下,个体对声誉传播机制的认知方法和认知行为,可以定义以下 5 个优化规则及相应的算法.

优化规则 1. 去掉信任网络中不在任何一条

从源节点到目的节点路径上的节点. 该类节点细分可以有 3 种情况.

(1) 该类节点与目标节点和源节点都不存在朋友关系. 该节点的存在并不会给信任网络带来任何有用信息, 可以从信任网络中删掉.

(2) 该节点与源节点为朋友关系, 与目标节点没有关系. 该节点不能提供对目标节点的推荐, 也不能为信任传播提供帮助, 所以可以从信任网络中删除该节点.

(3) 该节点与目标节点为朋友关系, 与源节点没有任何关系. 该节点可能有目标节点的推荐信息, 但是该节点的推荐信息不能传递给源节点, 所以该节点不能对目标节点的推荐做出贡献, 可以删除该节点.

根据此优化规则, 图 3 中节点 i_1 和目标节点 t 没有任何关系, 满足优化规则 1 描述的第 2 种情况, 可以从信任网络中删除. 节点 i_{16} 和 i_{17} 与源节点没有任何关系, 满足优化规则 1 描述的第 3 种情况, 可以从信任网络中删除. 节点 i_{15} 与源节点和目的节点均没有任何关系, 满足优化规则 1 描述的第 1 种情况, 可以从信任网络中删除. 因此, 这 4 个节点可以直接去掉, 得到优化后的信任网络如图 4 所示, 为方便起见, 省略了图中的朋友节点间的信任值.

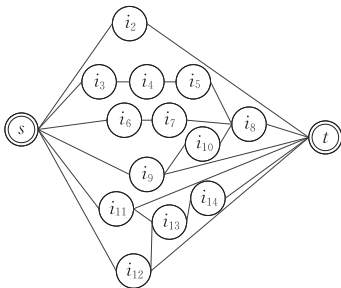


图 4 部分优化后的网络拓扑图

优化规则 2. 当节点存在如图 5(a) 的关系时, 可以将节点关系优化, 优化后的结果如图 5(b) 所示.

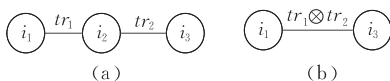


图 5 推荐节点优化示意图

图 5(a) 所示的图中, 节点 i_2 连接节点 i_1 和 i_3 . 节点 i_2 可以看作联系 i_1 和 i_3 的中间人, 且节点 i_2 的作用也仅限于此, 因此可以将节点 i_2 从信任网络中去掉, 重新定义 i_1 和 i_3 之间的关系. 优化后的结果如图 5(b) 所示. i_1 与 i_3 之间的信任度, 为优化前 i_1 与 i_2 和 i_2 与 i_3 之间信任度的合成 $tr_1 \otimes tr_2$.

优化规则 2 的算法 RN 描述如下.

Algorithm RN (Reducing Nodes).

Input *Network*, Output *Network*

$m, k, l, i \in N$

for each node i in *Network*

if $i \in N \cap i \notin R$ and $m \mapsto i, i \mapsto k$ then

make friend $m \mapsto k$

$tr(m, k) = tr(m, i) \otimes tr(i, k)$

delete i

end if

end for

优化规则 3. 当节点间存在如图 6(a) 所示的合并推荐节点关系时, 可以将推荐合并节点间关系优化, 优化后的结果如图 6(b) 所示.

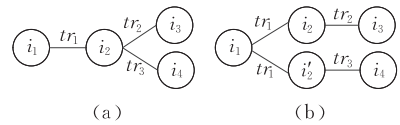


图 6 合并推荐节点优化示意图

如图 6 所示, 节点 i_1 通过节点 i_2 与 i_3, i_4 成为朋友, i_1 和 i_2 之间的信任度为 tr_1 , i_2 与 i_3 之间的信任度为 tr_2 , i_2 与 i_4 之间的信任度为 tr_3 . 优化后, 生成了中间节点 i_2 的克隆节点 i'_2 , 并使 i_1 和 i'_2 成为直接朋友, i_1 对 i'_2 的信任度为优化前 i_1 对 i_2 的信任度 tr_1 , 使 i'_2 和 i_4 成为直接朋友, i'_2 对 i_4 的信任度为优化前 i_2 对 i_4 的信任度 tr_3 , 同时取消 i_2 和 i_4 的朋友关系.

优化规则 4. 当节点间存在如图 7(a) 分叉推荐关系时, 可以将分叉推荐节点间关系优化, 优化后的结果如图 7(b) 所示.

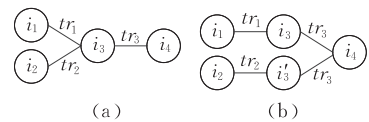


图 7 分叉推荐节点优化示意图

如图 7 所示, 节点 i_1 与节点 i_3 之间的信任度为 tr_1 , 节点 i_2 与节点 i_3 之间的信任度为 tr_2 , 节点 i_3 与 i_4 之间的信任度为 tr_3 , 节点 i_1 和 i_2 通过节点 i_3 与节点 i_4 联系. 优化后, 生成了中间节点 i_3 的克隆节点 i'_3 , 并使 i_2 和 i'_3 成为直接朋友, i_2 对 i'_3 的信任度为优化前 i_2 对 i_3 的信任度 tr_2 , 使 i'_3 和 i_4 成为直接朋友, i'_3 对 i_4 的信任度为优化前 i_3 对 i_4 的信任度 tr_3 , 同时取消 i_2 和 i_3 的朋友关系.

优化规则 3 和优化规则 4 的针对单个节点的处理可以合并为一个算法 CNM.

Algorithm CNM (Cloning Nodes in Multi-ways).

Input *Network*, Output *Network*

$m, k, l, i \in N$

for each node i in *Network*

if $i \in N \cap i \notin R$ and

$m \mapsto i, k \mapsto i, i \mapsto l$ then

new i' as i 's cloner

make friend $k \mapsto i', i' \mapsto l$

$tr(k, i') = tr(k, i), tr(i', l) = tr(i, l)$

release friend $k \mapsto i$

end if

if $i \in N \cap i \notin R$ and

$m \mapsto i, i \mapsto k, i \mapsto l$ then

new i' as i 's cloner

make friend $m \mapsto i', i' \mapsto l$

$tr(m, i') = tr(m, i), tr(i', l) = tr(i, l)$

release friend $i \mapsto l$

end if

end for

优化规则 5. 当两个节点间存在如图 8(a) 的多条信任并行关系时, 可以将节点并行关系优化, 优化后的结果如图 8(b) 所示.

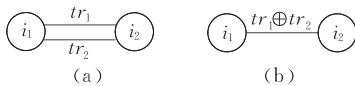


图 8 多条信任路径合并示意图

图 8(a) 中节点 i_1 与节点 i_2 之间出现了多条信任路径时, 每个路径上的信任度分别为 tr_1 和 tr_2 , 此时需要将两节点之间的多条信任路径合并成一条信任路径. 优化后的结果如图 8(b) 所示, 节点 i_1 和节点 i_2 之间的多条信任路径合并为一条, i_1 与 i_2 之间的信任度为 $tr_1 \oplus tr_2$.

优化规则 5 的算法 CWBN 描述如下.

Algorithm CWBN (Combining Ways Between Nodes).

Input *Network*, Output *Network*

$m, i \in N$

for each node i in *Network*

if $i \in R \cap m \in R$ and $m \mapsto i$ then

if $\exists tr'(m, i) \neq tr''(m, i)$ then

$tr(m, i) = tr'(m, i) \oplus tr''(m, i)$

end if

end if

end for

在图 3 中, 共有 19 个节点, 大致分为 3 类: 源节点 s 、目标节点 t 和中间节点 $i_1 \sim i_{17}$. 其中, 节点 $i_2, i_8, i_9, i_{11}, i_{12}$ 与目标节点 t 有交易记录, 存在对目标节点 t 的推荐信息, 为推荐节点.

图 3 中, 路径 $s \rightarrow i_3 \rightarrow i_4 \rightarrow i_5 \rightarrow i_8$ 中可以将节点

i_3, i_4, i_5 根据优化规则 2 优化得到一条 $s \rightarrow i_8$ 的路径 A. 同理, 路径 $s \rightarrow i_6 \rightarrow i_7 \rightarrow i_8$ 中可以将节点 i_6, i_7 根据优化规则 2 优化得到另一条 $s \rightarrow i_8$ 的路径 B. 路径 A 和路径 B 又根据优化规则 5 优化得到唯一一条由 s 到 i_8 的路径.

路径 $i_9 \rightarrow i_{10} \rightarrow i_8$ 根据优化规则 2 可以删除节点 i_{10} , 得到路径 $i_9 \rightarrow i_8$.

路径 $i_{11} \rightarrow i_{13} \rightarrow i_{14} \rightarrow t$ 由优化规则 2 得到一条由 i_{11} 到 t 的路径 C. 路径 $i_{11} \rightarrow t$ 和路径 C 根据优化规则 5 得到唯一一条 $i_{11} \rightarrow t$ 的路径. 同理, $i_{12} \rightarrow i_{13} \rightarrow i_{14} \rightarrow t$ 由优化规则 2 得到一条 i_{12} 到 t 的路径 D, 路径 D 和路径 $i_{12} \rightarrow t$ 由优化规则 5 得到唯一一条由 i_{12} 到 t 的路径.

由此, 对图 4 的信任网络, 首先使用算法 CNM 得到优化后的信任网络如图 9 所示. 然后, 使用算法 RN 得到再次优化后的信任网络如图 10 所示. 最后, 使用算法 CWBN 得到优化后最终的信任网络如图 11 所示. 图中只含源节点、推荐节点和目标节点, 可以看作信任网络的最简化之后的结果.

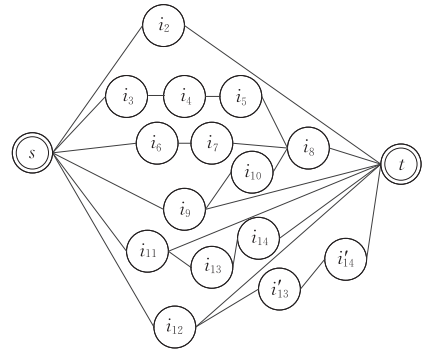


图 9 实施优化规则 3、4 后的信任网络图

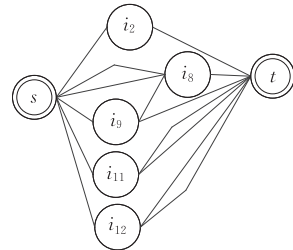


图 10 实施优化规则 2 后的信任网络图

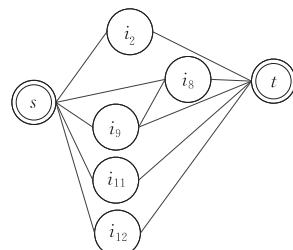


图 11 复杂的信任网络优化后的效果图

4.3 信任合成符号定义

优化规则 2 和优化规则 5 分别定义了信任合成符号 \otimes 和 \oplus , 我们在这里讨论符号 \otimes 和 \oplus 的定义和计算方法。

在本文中, 使用符号 tr 表示节点之间的信任度。关于信任度大小的表示可以有多种方式。大部分的学者在研究信任关系时, 将信任度 tr 设定为一个数值, 该数值的范围为 $[0, 1]$, $tr=0$ 表示节点之间完全不信任, $tr=1$ 表示节点之间完全信任, tr 值从 0 到 1 的变化过程是节点直接信任不断加强的过程, 从开始的不信任到信任但带有一定的怀疑, 到最后的完全信任。 $tr=a$ 表示节点之间的信任度为 a , 但能保留一定的怀疑, 怀疑程度为 $1-a$ 。但也有不少学者在研究信任时, 对信任提出了自己的观点, 认为信任仅有一个 0 到 1 区间的数字描述, 不能够完全体现现实生活中的信任关系, 认为信任是多方面的, 不仅含有信任和不信任的程度还应该包含其它的因素。文献[11]中就将信任设置为多维度的, 认为信任包含了信任、不信任、不确定和其它 4 个方面。将信任度设置为多维度时, 信任的合成符号 \otimes 和 \oplus 在语义不变的情况运算规则会相应地变化, 具有更加丰富的含义。

本文在信任网络优化过程中, 采用将 tr 设置为一个数值的方法来描述信任度, 将 \otimes 和 \oplus 运算符分别定义成乘法操作和取最大值操作。

$$(1) tr_1 \oplus tr_2 = \max(tr_1, tr_2)$$

$$(2) tr_1 \otimes tr_2 = tr_1 \times tr_2$$

\oplus 操作定义为取最大值时, 能够在多条路径中选取信任度较高的路径作为优化后的结果, 舍弃了信任度低的路径。推荐信息通过信任度高的节点传递到源节点在实际环境中是合理可行的。 \otimes 操作定义为乘法操作时, 能够使得在信任度低的路径上合成的信任度下降得快, 而信任度高的路径上合成的信任度下降得慢, 在完全信任的路径上信任值不降低, 也符合信任传递规则, 在实际环境中也是合理可行的。

5 可视化工具实现及应用分析

5.1 信任网络描述语言

为了便于系统自动构造信任网络加权有向图, 将第 3 节的信任网络加权有向图形式化描述转化为一种系统能够自动识别和解析的信任网络描述语言。利用这种描述语言生成一个信任网络描述文件。

信任网络描述语言由 $source$ 、 $target$ 、 $node$ 和 $friend$ 4 个关键字组成, $source$ 来表述信任网络中的源节点, $target$ 来描述信任网络中的目标节点, $node$ 描述网络中其它的节点, 关键字节点名称之间使用逗号分隔, $friend$ 描述朋友关系。其描述文件的格式如下:

$source=source_name$, 表示该信任网络中的节点为 $source_name$;

$target=target_name$, 表示信任网络中的目标节点为 $target_name$;

$node=node_1, node_2, \dots, node_n$, 表示中间节点为 $node_1, node_2, \dots, node_n$;

$friend=friend_name_1, friend_name_r, trust_value$, 表示节点 $friend_name_1$ 与 $friend_name_r$ 为朋友关系, 且 $friend_name_1$ 对 $friend_name_r$ 的信任度为 $trust_value$ 。如 $friend=s, i_1, 0.67$ 表示节点 s 和节点 i_1 为朋友关系且节点 s 对节点 i_1 的信任度为 0.67。

对于第 4 节信任网络 G 可以用上面的信任网络描述语言进行描述, 生成一个信任网络描述文件, 如表 1 所示。

表 1 信任网络描述文件

$source=s$	
$target=t$	
$node=i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8, i_9, i_{10}, i_{11}, i_{12}, i_{13}, i_{14}, i_{15}, i_{16}, i_{17}$	
$friend=s, i_1, 0.67$	$friend=i_9, t, 0.95$
$friend=s, i_9, 0.56$	$friend=i_{11}, t, 0.77$
$friend=i_3, i_4, 0.30$	$friend=i_{13}, i_{14}, 0.75$
$friend=i_7, i_8, 0.60$	$friend=i_{14}, t, 0.83$
$friend=i_{10}, i_8, 0.83$	$friend=i_{17}, t, 0.90$
$friend=i_{12}, t, 0.65$	$friend=i_9, i_{10}, 0.72$
$friend=t, i_{16}, 0.84$	$friend=s, i_3, 0.63$
$friend=s, i_2, 0.80$	$friend=s, i_6, 0.80$
$friend=s, i_{11}, 0.64$	$friend=s, i_{12}, 0.90$
$friend=i_4, i_5, 0.70$	$friend=i_2, t, 0.75$
$friend=i_8, t, 0.79$	$friend=i_5, i_8, 0.80$
$friend=i_{11}, i_{13}, 0.20$	$friend=i_6, i_7, 0.70$
$friend=i_{12}, i_{13}, 0.60$	

5.2 信任网络可视化工具实现及应用

在 Window 环境下, 使用 Visual Studio 2008 工具开发了一套信任网络可视化工具(Trust Network Visualization System, TNVS)。TNVS 可以自动识别和解析 5.1 节定义信任网络描述文件, 构造信任网络加权有向图, 并根据第 4 节的网络优化算法对构造的网络进行优化。

对于表 1 定义信任网络描述文件, 利用 TNVS 可以绘制信任网络加权有向图, 如图 12 所示。为了清晰地展示节点间的信任网络关系, 在图 12 中隐藏了节点间的信任值。一旦鼠标移动到两节点间的信

任路径上时,信任值自动显示出来.

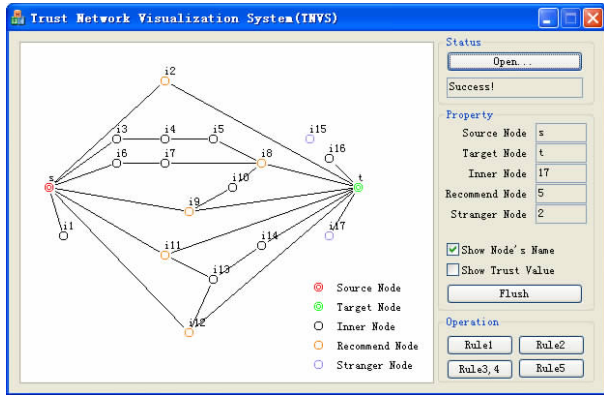


图 12 优化前的原始信任网络示意图

然后利用 TNVS 的网络优化功能可以对图 12 进行优化. 优化后,信任网络中只包含了源节点、目标节点和推荐节点,如图 13 所示. 从图 13 可以看出,除了目标节点和源节点外,仅包含了推荐节点以及源节点、目标节点和推荐节点之间的关系,使得网络中的信任关系简单明晰,便于信任计算.

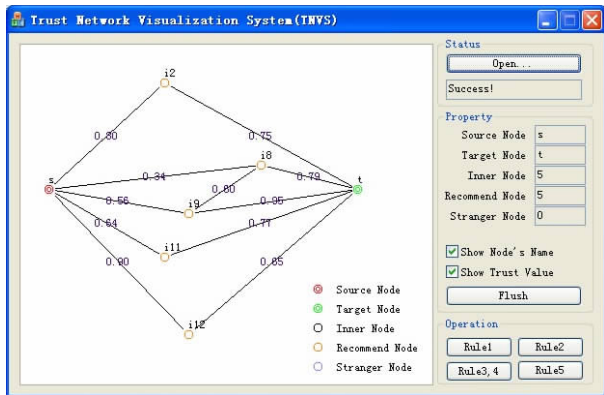


图 13 采用 TNVS 优化后的信任网络示意图

5.3 应用分析

(1) 优化算法执行顺序对整个信任网络优化效率的影响

针对实际的信任网络,在优化过程中,优化算法 RN、CNM、CWBN 均可以单独执行. 在算法 CNM 中,对非推荐节点的优化,由于引入了克隆的方法,将非推荐节点的出度和入度都降低为 1,从而增加了整个网络节点数量,对其它优化算法的执行效率会产生一些影响. 由此可见,优化算法 RN、CWBN 与 CNM 的执行顺序对整个信任网络优化效率有着直接的影响,特别是对大规模信任网络的优化效率的影响更显著.

对于优化算法 RN、CWBN,二者执行的先后次序对整个信任网络的优化效率影响不大. 如果按照

优化算法 CNM、RN、CWBN 的执行顺序,3 个算法分别执行一次就能够实现整个信任网络优化. 其最大的缺点在于:由于算法 CNM 对非推荐节点的克隆,会引起信任网络节点规模膨胀而增加算法 RN 和 CWBN 执行的时间,从而使得整个信任网络的优化效率大大降低.

如果按照优化算法 RN、CWBN、CNM 的执行顺序,则必须在 CNM 执行完成后,再执行算法 RN、CWBN,才能实现整个信任网络的优化. 尽管算法 RN、CWBN 分别执行了两次,但是大大抑制了算法 CNM 导致的网络节点规模膨胀,从而提高了整个信任网络的优化效率.

虽然优化算法执行的顺序不同,但最终的优化结果是一致的. 对于小规模信任网络,两种执行顺序的优化效率差别不大,但对于大规模信任网络,则选择第 2 种优化算法执行顺序比较合适.

(2) 信任网络构造算法和优化算法复杂度分析

构造信任网络的过程需要遍历整个信任网络的描述,设定信任网络描述中有 n 个节点,集合 F 中有 e 个元素描述朋友关系,随着网络的不同, $e \in [0, n \times (n-1)]$,当网络中所有的节点与外界不发生任何联系,任何节点没有朋友关系时, $e=0$,而当网络中所有的节点都与网络中其它的节点认识,则 $e = n \times (n-1)$. 则构造信任网络的时间复杂度为 $\Theta(n) \sim \Theta(n^2)$,其中 n 为网络结点数.

优化算法 RN、CNM、CWBN 的时间复杂度与网络的节点数以及网络的存储方式有关. 若使用邻接表存储信任网络时,需要确定每个节点的出度和入度,每次遍历都涉及到网络中的每条边,因此优化算法 RN、CNM、CWBN 的时间复杂度为 $\Theta(n \times e)$;若使用邻接矩阵存储信任网络时,确定每个节点的出度和入度需要 $2n$ 次计算,因此优化算法 RN、CNM、CWBN 的时间复杂度为 $\Theta(n^2)$.

为了降低算法执行的时间复杂度,在程序设计过程中,可以考虑将节点的出度和入度保持在缓存中,确定每个节点的出度和入度只需要查询缓存,而不需要每次都遍历邻接表或邻接矩阵.

(3) 信任计算时间复杂度分析

为了验证信任网络优化后是否能够有效地降低信任计算的复杂度,我们模拟一组不同规模基于推荐的信任网络,结合参考文献[17]提出的 Peer-Trust TVM/DTC 算法,给出了信任网络优化的时间和信任网络优化前后的信任计算算法的执行时间,如图 14 所示.

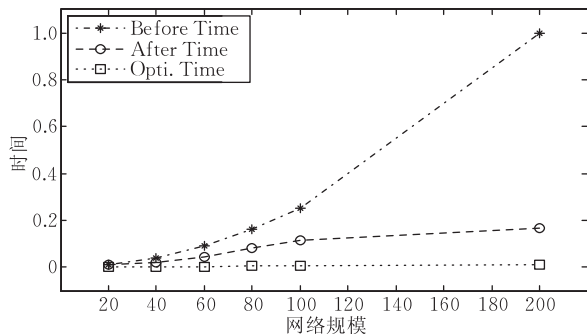


图 14 信任计算时间对比

图 14 中 Before Time 表示信任网络未优化时信任计算算法执行时间, After Time 表示信任网络优化后信任计算算法执行时间, Opti. Time 表示信任网络优化算法执行时间。

由图 14 可知,随着信任网络规模的增大,信任网络未优化时的信任计算算法执行时间 Before Time 成几何倍数增大;信任网络优化后的信任计算算法执行时间 After Time 也是随着信任网络规模的增大而不断增长的,但信任网络增大到一定程度后,After Time 的增长就会越来越不明显.因为信任网络优化时,只保留了源节点、目标节点和推荐节点.在网络规模增大时,推荐节点的数量并不随着网络规模的扩大而明显增多,这使得优化后信任网络节点的数量不会明显增大,从而使得优化后信任网络的计算时间 After Time 保持相对稳定.而信任网络优化算法执行时间 Opti. Time 是随着信任网络规模的增大而缓慢地增大。

信任网络优化前的信任计算算法执行时间 Before Time 明显要大于信任网络优化后的信任计算算法执行时间 After Time 和信任网络优化算法执行时间 Opti. Time 之和.从中可以看出,当网络规模比较大时,对网络进行优化后再计算信任度,能够明显提高信任计算的速度,从而达到降低信任计算复杂度的目的。

(4) 信任数据完整性分析

为了验证符号 \otimes 和 \oplus 的乘积语义和最大值语义对信任计算的准确性的影响.根据淘宝网中商家提供的交易信息分别构造了规模为 20, 40, 80, 100, 200, 1000 个节点的信任网络,并将买家对卖家的评价等级转化为 0 到 1 之间的推荐信任值,使用 Peer-Trust TVM/DTC 算法分别计算了信任网络优化前和优化后目标节点的信任值.实验数据结果如图 15 所示。

在图 15 中,横坐标轴表示信任网络节点规模。

TVM 表示未优化前使用 PeerTrust TVM/DTC 算法计算的信任值, TNVS 表示优化后使用 Peer-Trust TVM/DTC 算法计算的信任值.通过图中曲线走势的对比分析可知,优化后的信任网络能够在总体上反映出原信任网络实际信任情况.但针对优化前和优化后的信任网络,由信任计算算法得到的信任值还是存在着一些差异,这说明使用 \otimes 和 \oplus 进行信任网络优化时存在着信任信息损失的问题.实验表明,在不同推荐节点规模的网络中,优化前后的信任网络计算的信任值的差异度小于 7%,这表明在网络优化过程中定义的 \otimes 、 \oplus 语义存在一定程度的数据丢失.网络中的推荐节点越多,信任信息损失就越少。

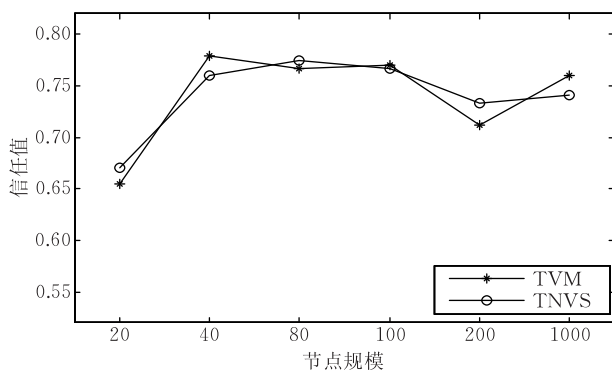


图 15 信任值对比实验

6 总结

本文结合现实生活中社会关系网络的一些认知理论和方法,将电子商务交易实体间的信任关系定义为一个信任网络,根据网络中节点扮演的角色对节点进行了分类,将节点划分为源节点、目标节点、中间节点,并依据节点间的关系分别定义了朋友节点、推荐节点、陌生节点,给出了信任网络的形式化描述模型.在信任网络中引入了传统商务环境中的血缘、朋友、同事等社会关系,对欺诈的推荐信任具有很好的抑制作用。

同时,在信任网络形式化描述的基础上,提出了一套信任网络的构造方法和优化算法,有效地降低了信任网络的复杂性.最后,根据信任网络形式化描述模型,定义了一种信任网络描述语言,研制了一套信任网络可视化系统.通过实例应用分析表明,信任网络形式化描述模型和优化算法可以很好地揭示电子商务环境中复杂的信任关系,降低了信任度量算法的复杂度,为信任的传播机制和信任计算模型的研究提供了理论基础。

针对信任网络优化过程中的信任信息损失问题,下一步将重点研究信任网络优化语义算子 \otimes 、 \oplus 的计算方法,避免或减少信任信息的损失.另一方面,当信任网络规模增加时,在 TNVS 系统中展示节点的分布和排列比较混乱,可读性较差,如何解决大规模信任网络的自动布局与绘制问题也是下一步研究的重点.

致 谢 感谢淘宝网凯雯菲拉亿佰专卖店的管理人员 shadow 提供的网上交易数据.感谢论文评审专家提出的评审修改意见,这些评审修改意见对提高作者论文水平有很大帮助!

参 考 文 献

- [1] Resnick P, Zeckhauser R. Trust among strangers in internet transactions: Empirical analysis of eBay's reputation system//Baye M R ed. *Advances in Applied Microeconomics*. Amsterdam: Elsevier, 2002, 11: 127-157
- [2] Xiong L, Liu L. PeerTrust: Supporting reputation-based trust for peer-to-peer electronic communities. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2004, 16(7): 843-857
- [3] Gan Z B, Li Y J, Xiao G Q et al. A novel reputation model for mobile agent-based e-commerce systems//Proceedings of the 2nd International Conference on Information Security and Assurance, Hanwha Resort Haeundae. Busan, Korea, 2008; 253-260
- [4] Zhu Jun-Mao, Yang Shou-Bao, Fan Jian-Ping et al. A Grid & P2P trust model based on recommendation evidence reasoning. *Journal of Computer Research and Development*, 2005, 42(5): 797-803(in Chinese)
(朱峻茂, 杨寿保, 樊建平等. Grid 与 P2P 混合计算环境下基于推荐证据推理的信任模型. *计算机研究与发展*, 2005, 42(5): 797-803)
- [5] Chen Jian-Gang, Wang Ru-Chuan, Zhang Lin et al. The resource access mechanism in grid based on fuzzy-trust. *Chinese Journal of Computers*, 2009, 32(8): 1676-1682(in Chinese)
(陈建刚, 王汝传, 张琳等. 基于模糊集合的网格资源访问的信任机制. *计算机学报*, 2009, 32(8): 1676-1682)
- [6] Wang Jia-Fang, Feng Zhi-Yong, Xu Chao et al. Research on

trust framework in multi-Agent system from the cognitive view. *Chinese Journal of Computers*, 2010, 33(1): 139-151 (in Chinese)

(王家昉, 冯志勇, 徐超等. 多 Agent 系统中基于认知的信任框架研究. *计算机学报*, 2010, 33(1): 139-151)

- [7] Jøsang A, Golbeck J. Challenges for robust of trust and reputation systems//Proceedings of the 5th International Workshop on Security and Trust Management (STM 2009). Saint Malo, France, 2009
- [8] Jøsang A, Elizabeth G, Kinatader M. Simplification and analysis of transitive trust networks. *Web Intelligence and Agent System*, 2006, 4(2): 139-161
- [9] Li Wei-An, Wu De-Sheng, Xu Hao. Reputation in China's online auction market: Evidence from the Taobao website. *Nankai Business Review*, 2007, 10(5): 36-46(in Chinese)
(李维安, 吴德胜, 徐皓. 网上交易中的声誉机制——来自淘宝网的证据. *南开管理评论*, 2007, 10(5): 36-46)
- [10] Marsh S. Formalizing trust as a computational concept [Ph. D. dissertation]. Department of Computer Science and Mathematics, University of Stirling, Stirling, Scotland, 1994
- [11] Blaze M, Feigenbaum J, Lacy J. Decentralized trust management//Proceedings of the 17th Symposium on Security and Privacy. Oakland, 1996: 164-173
- [12] Clifford M, Lavine C, Bishop M. The solar trust model: Authentication without limitation//Proceedings of the 14th Annual Computer Security Applications Conference. Phoenix, USA, 1998: 300-307
- [13] Clifford M. Networking in the solar trust model: Determining optimal trust paths in a decentralized trust network//Proceedings of the 18th Annual Computer Security Applications Conference. Las Vegas, NV, USA, 2002: 271-281
- [14] Yolum Pinar, Singh Munindar P. Service graphs for building trust//Lecture Notes in Computer Science 3290. Heidelberg Springer, 2004: 509-525
- [15] Bhuiyan T, Xu Y, Jøsang A. SimTrust: A new method of trust network generation//Proceedings of the 2010 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing. Hong Kong, China, 2010: 718-722
- [16] Gan Z B, Ding Q, Varadharajan V. Reputation-based trust network modelling and simplification in multiagent-based e-commerce systems//Proceedings of the 5th International Conference on Next Generation Web Services Practices. Prague, Czech Republic, 2009: 60-67
- [17] Jøsang A, Hayward R, Pope S. Trust network analysis with subjective logic//Proceedings of the 29th Australasian Computer Science Conference. Hobart, Tasmania, Australia, 2006: 85-94



GAN Zao-Bin, born in 1968, Ph. D., associate professor. His main research interests include e-commerce, trust computing and Agent technology.

ZENG Can, born in 1986, M. S. candidate. His research interests focus on trust computing and multi-Agent system.

LI Kai, born in 1968, Ph. D., lecturer. His research interests include e-commerce, trust computing and multi-Agent system.

HAN Jian-Jun, born in 1972, Ph. D., associate professor. His research interests include parallel computing and trust computing.

Background

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (70672041), Hubei Provincial Natural Science Foundation of China (2007ABA307) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2010MS112).

Trust and reputation are becoming increasingly important in e-commerce. While trust is local, personal and subjective, reputation is global and objective. In e-commerce, trust is fundamental to clients for conducting transactions with remote sellers. However, the trust relationships between transaction entities are very complex as the social relationships in the traditional business environment. The trust evaluation is concerned with many factors, such as the volume of transactions, trading time, the revenue of buyers, the attitude to trust risk, and so on. Therefore, it is very hard to compute quantitatively and accurately. Though many re-

searchers make contributions to trust computing, these researches focus on trust metric model and do not take the formal description of trust into account.

In order to explore the essential features of the trust relationships, some concepts of trust and trust relationships are defined in terms of human cognitive methods and behaviors in society. Also, this paper presents a formal description model based on the trust network. Considering to the reputation propagation discipline, this paper proposes optimization algorithms for the trust network which can effectively simplify the complex network relationship. Finally, a visual generation tool for the trust network is given. The practical application example shows that the formal description model can intuitively show the complex trust relationships in e-commerce systems, and build the theoretical principle for studying on trust propagation mechanism and trust evaluation model.