

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.08.022

在线社会网络多维度链式信任计算算法^①

李 献 礼

长江师范学院 网络信息中心, 重庆 涪陵 408100

摘要: 针对在线社会网络中用户间的复杂关联和信任问题, 本文提出一种链式优化方法来降低用户关联的复杂性, 同时结合多维度用户评价、时间衰减、共谋识别以及目标用户信誉值几方面综合计算目标用户的动态信任值, 建立了在线社会网络优化及信任计算算法, 有效地解决了在线社会网络的信任计算问题。

关键词: 在线社会网络; 多维度; 信任网络; 信任计算

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)08-0142-06

在线社会网络环境中, 基于虚拟空间的信息交换使得交易具有匿名性、动态性和随机性等特征^[1], 从而导致在线社会网络的交易中丢失了传统交易活动所依赖的信任基础. 针对这一问题, 国内外学者在信任度量方面进行了大量的研究, 分别通过不同维度(个人维度、社会维度等)来探索自身经验、社会网络推荐等因素度量信任的方法^[2-3], 具有代表性的算法有基于证据理论的信任模型^[4]、基于声誉的信任模型^[5-6]、基于主观逻辑的信任模型^[7-8]等. 这些研究成果为在线社会网络环境下的信任计算问题开辟了新的途径. 本文在当前信任计算算法的基础上, 综合考虑链式网络优化、多维度评价及其权重、时间因子、共谋欺诈行为识别问题, 提出了一种基于链式网络的多维度信任计算算法.

1 链式信任网络模型

1.1 相关定义

将实体间的相互信任建模为一个信任网络, 信任网络中每个实体对象称之为节点, 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 u , 被评价的节点称为目标节点, 记为 v , 其他节点称为中间结点, 记为 i , 中间节点的集合用符号 I 表示^[9].

定义(朋友节点) 对于任意节点 $n_1, n_2 (n_1, n_2 \in N)$, 若 n_1 与 n_2 有过直接或间接交易, 则 n_1, n_2 为朋友关系. 朋友节点的集合记为 F .

定义(推荐节点) 朋友节点中, 能帮助 u 对目标节点 v 做出评价并且提供自己与 v 的直接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, $r \in R$.

所有推荐节点一定是 u 的直接朋友或间接朋友关系. 用 $r_1 \rightarrow r_2$ 表示 r_2 向 r_1 作推荐.

定义(信任值) 在线社会网络中, 用户 u 对用户 v 的信任值表示为用户 u 根据自己直接与用户 v 的历史交易经验, 以及社会网络中其他用户与 v 的交易经验做出的对 v 的可信程度的量化.

定义(信誉值) 目标节点 v 的信誉值是指在线社会网络中其他节点根据自身与目标节点的历史交易经验, 基于信誉反馈评价方法对目标节点服务能力的量化.

① 收稿日期: 2015-04-29

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1401225); 长江师范学院科研创新平台建设计划资助项目(2015XJPT02).

作者简介: 李献礼(1960-), 男, 四川长宁人, 教授, 主要从事计算机网络、智能计算方面的研究.

定义(信任网络) 针对 u 发起的对 v 的信任评价问题,我们将信任网络建模为一加权有向图 $G=(V, E, T_v)$, 其中:

- 1) V 表示有向图的顶点集合,代表社会网络中的各个实体对象,记 $V=\{u, v, F\}$,
- 2) E 表示顶点之间的边集合,连接能帮助 u 对 v 作出信任评估的朋友节点,是社会网络中具有相互联系的实体对象.
- 3) T_v 表示顶点之间的信任值集合,对应于朋友节点之间的信任值集合;

假设信任评价网络 G 中,节点集 $V=\{u, v, f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, r_1, r_2\}$, $E=\{u \rightarrow f_1, u \rightarrow f_2, u \rightarrow f_3, u \rightarrow f_4, f_1 \rightarrow f_8, f_2 \rightarrow f_5, f_3 \rightarrow f_8, f_3 \rightarrow f_6, f_4 \rightarrow f_7, f_5 \rightarrow f_8, f_6 \rightarrow r_2, f_7 \rightarrow r_2, f_8 \rightarrow r_1, r_1 \rightarrow v, r_2 \rightarrow v\}$, E 中各边连接的顶点间依次对应的信任值 $T_v=\{0.8, 0.7, 0.9, 0.6, 0.95, 0.75, 0.6, 0.8, 0.8, 0.5, 0.9\}$, 其中 $r_1 \rightarrow v, r_2 \rightarrow v$ 的信任值待定,则可将信任网络 G 建模为图 1 的有向图,其中 r_1, r_2 为朋友节点中的推荐节点, f_1, f_2, \dots, f_8 为 u 的直接或间接朋友节点.

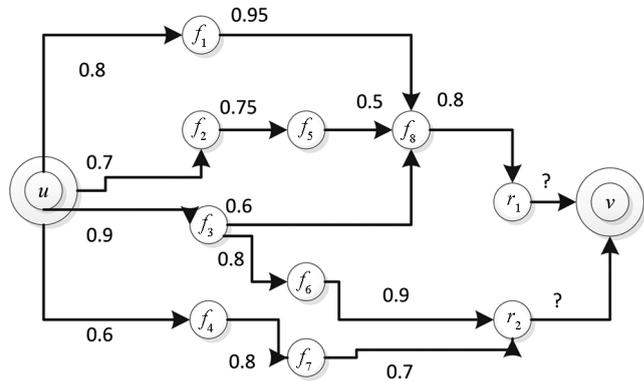


图 1 链式信任网络 G 的有向图

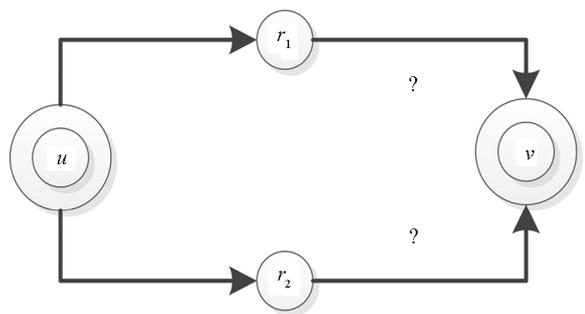


图 2 优化后的链式信任网络 G 的有向图

1.2 优化链式信任网络

为了降低链式信任网络的复杂度,对链式信任网络进行优化,使得该网络中只含有源节点、推荐节点和目标节点以及它们之间的边,从而降低信任计算的复杂度.根据链式网络的结构,以图 1 的链式信任网络为例,引入以下情形进行优化:

- 1) 信任传递:对于类似图 1 中 $f_2 \rightarrow f_5 \rightarrow f_8$ 的结构,优化为 $f_2 \rightarrow f_8$,同时 f_2 对 f_8 的信任值记为该路径上各边信任值的乘积.
- 2) 分叉:对于类似图 1 中 $u \rightarrow f_3 \rightarrow f_8, u \rightarrow f_3 \rightarrow f_6$ 的结构,优化为 $u \rightarrow f_8, u \rightarrow f_6$,同时 u 对 f_8, f_6 的信任值按信任传递策略计算.
- 3) 多路径汇聚:对于类似图 1 中从 u 到 f_8 有 $u \rightarrow f_1 \rightarrow f_8, u \rightarrow f_2 \rightarrow f_5 \rightarrow f_8, u \rightarrow f_3 \rightarrow f_8$ 多边的结构,优化为 $u \rightarrow f_8$,其信任值为从 u 到 f_8 的各路径按信任传递和分叉策略计算的最小值(采用最小信任策略)或最大值(充分信任策略)或平均值(一般信任策略).

根据以上优化规则,图 1 中信任网络 G 优化后如图 2 所示.其中 u 对 r_1 通过朋友关系传递的信任度为 $0.608/0.416667/0.21$ (最大值 / 平均值 / 最小值), u 对 r_2 通过朋友关系传递的信任度为 $0.648/0.336/0.492$ (最大值 / 平均值 / 最小值).

2 基于多维度的链式信任计算算法

针对 u 发起的对目标用户 v 的信任计算问题,我们从以下 4 个方面分析:根据 u 与 v 的历史交易经验、目标用户 v 的信誉值、朋友节点间的信任关系、推荐用户 r 对 v 的推荐程度.

2.1 根据 u 与 v 的历史直接交易经验计算直接信任值

根据 v 提供的服务,从 n 维属性方面做出评分,可能的值集记为向量,则

$$\mathbf{O} = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$$

其中 o_i 是第 i 个属性归一化后的值. 各个属性的权重向量记为

$$\mathbf{W} = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$$

其中 ω_i 在 $[0, 1]$ 区间内, 且

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$$

在各属性相互独立的条件下, u 根据自己 N 次与 v 的直接交易获取的信任值 $DT_{u,v}(\mathbf{O})$ 定义为

$$DT_{u,v}(\mathbf{O}) = \begin{cases} \sum_j^N \sum_{i=1}^n \omega_{ji} \times o_{ji} & N \geq 1 \\ 0 & N = 0 \end{cases} \quad (1)$$

2.2 基于多维度的目标用户信誉动态更新

通常基于推荐用户对目标用户的信誉反馈评分来更新目标用户的信誉值. 传统的信誉反馈评分定义为: 与用户 v 进行交易的推荐用户 r 根据 v 提供的服务质量(交易金额、服务质量、物流情况等), 按照自己的主观经验, 对用户 v 当前的信誉状况在 $1 \sim 5$ 或 $\{-1, 0, 1\}$ 的范围内做出主观评分, 则用户 v 新的信誉值就等于原有信誉值加上本次交易所得的信任反馈评分. 然而这种仅靠汇总信誉反馈评分的计算策略, 受以下因素的影响, 难以准确地测度目标用户的信誉值.

1) 时间因素

一方面, 若采用简单累加信誉反馈评分更新目标用户 v 的信誉, 则目标 v 通常会随着时间的推移累积信誉度^[10]. 另一方面对 v 做出的评分信息也具有时间有效性, 时间越近的推荐信息, 对此次信誉值的计算应该越大. 综合以上 2 个因素, 引入时间窗口和时间衰减函数. 将整个时间轴分为若干个长度为 t_0 的时间窗口, 每经过一个 t_0 的时间长度, 目标用户的信誉值就进行一次衰减, 时间衰减函数定义为

$$S(k, t) = \rho^{t-k} \quad (2)$$

其中, ρ 是时间权重因子, $0 < \rho < 1$; k 为用户对目标 v 作出评分时所在的时间窗口, t 为当前的时间窗口.

2) 价值因素

在线社会网络中, 通常用户间的每次互动都会引起信誉增加, 因此, 可能存在投机用户用多次小额交易累积信誉, 然后在大宗交易时进行欺诈的行为. 故交易的价值因素也应纳入信任计算中, 根据交易价值的高低调整反馈评分的权重.

综合这 2 个因素, 我们对用户 v 的信誉值 RP 进行动态更新: 根据用户 v 提供的服务, 从 n 维属性方面做出评分, 可能的值集记为向量

$$\mathbf{O} = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$$

其中 o_i 是第 i 个属性的值(此处不作归一化处理, 并且所有评分均 ≥ 0). 各个属性的权重向量记为

$$\mathbf{W} = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$$

其中 ω_i 在 $[0, 1]$ 区间内, 且

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$$

则 v 在 t 时刻的信誉值 $RP_v(t)$ 按以下公式计算:

$$RP_v(t) = RP_v(t-1) \times S(t-1, t) + \sum_{i=1}^n \omega_i \times o_i \quad (3)$$

2.3 朋友及朋友的可信度

信任计算中, 为了降低共谋评分(即若用户群 U 中的对象互结联盟, 只对自己的朋友提交正反馈评分, 以提升各自的信誉评价, 而对其他用户一律提交负反馈)的影响, 引入朋友关系的划分标准及朋友可信度权值的计算. 本文基于杰卡德相似系数和协同过滤来计算朋友的可信度权值.

设 $N(v)$ 为目标用户 v 的交易合作伙伴组成的集合, $N(r)$ 为推荐用户 r 的交易合作伙伴集合, $C(r, v)$ 为目标用户 v 与交易用户 r 共同的交易合作伙伴组成的集合. 文献[9]通过求解目标用户 v 与推荐用户 r 对相同交易合作伙伴评价分数的相似程度, 来评价推荐用户 r 的可信度, 计算 v 与 r 的余弦距离作为衡量用户 r 的可信度, 距离越近, 表明 v 与 r 对共同用户的评价一致性越高, 该方法能解决 v 与 r 不是联盟成员时 r 的可信度计算问题, 但若目标用户 v 与 r 是联盟成员时, 则他们具有共同朋友、敌人的数量就越多, 按文献[10]的方法得到的 r 可信度仍然很高, 从而出现误导. 公式如下所示

$$sim(r, v) = \sum_{k \in C(r, v)} \frac{\sum_{i=1}^{|C|} f_{ci}(r, k) \times f_{ci}(v, k)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{|C|} f_{ci}(r, k)\right]^2 \times \left[\sum_{i=1}^{|C|} f_{ci}(v, k)\right]^2}} \quad (4)$$

因此, 在确定推荐用户的可信度时, 本文引入杰卡德相似系数来分析共谋的可能性. 目标用户 v 与推荐用户 r 的杰卡德相似系数定义为

$$J(r, v) = \frac{|C(r, v)|}{|N(r)| + |N(v)|} \quad (5)$$

其中, $|*|$ 运算符表示为集合中成员的个数.

本文推荐用户的可信度权值 RT 为

$$RT_{r,v} = |sim(r, v) - J(r, v)| \quad (6)$$

基于公式(6), 若目标用户 v 与 r 是联盟成员, 则他们具有共同朋友、敌人的数量就越多, v 与 r 对共同的朋友和敌人的评分就越相似, 此时, 尽管余弦相似度高, 但杰卡德相似系数也高, 则可信度低; 若 v 与 r 非同谋, 则杰卡德相似系数低的可能性就高, 此时, 若余弦相似度高, 则 r 的推荐值得信赖. 同时, 规定当 $RT_{r,v}$ 大于设计阈值时, r, v 才是值得信赖的朋友, 可以很大程度地降低朋友规模, 从而降低算法的复杂性.

2.4 基于多维度的链式信任计算算法

综上所述, 用户 u 通过信任网络发起的对目标用户 v 的信任计算设计如下, 给定时间 t , 其信任值计算模型为

$$T_{u,v} = [\lambda \times DT_{u,v} + (1 - \lambda) \times RT'_{u,v}] \times RP_v(t) \quad (7)$$

其中 $RT'_{u,v}$ 是根据链式信任计算方法得到的对目标节点的信任度.

基于多维度的链式信任计算算法基本步骤如下:

- 1) 为每个新加入在线社会网络的节点分配初始信誉值 RP_0 ;
- 2) u 根据自身与 v 进行历史交易的信息计算 u 对 v 的直接信任度 DT_0 ;
- 3) u 向朋友节点发起对 v 的信任计算请求, 按链式信任网络优化的方法计算 u 从朋友节点获取的对 v 的可信度权值 $RT'_{u,v}$;
- 4) 计算目标用户当前的信誉值 $RP_v(t)$;
- 5) 按公式(7) 计算用户 u 对目标用户 v 的最终信誉值.

3 仿真实验

为了验证本文提出的多维度评价指标以及链式信任传递对算法的影响, 本文从模拟的 300 个用户交易中提取出的链式信任网络为例, 分别从服务质量、时间因素、共谋行为和信任传递 4 个方面对比基于信誉反馈评分的信任计算, 以证明本文算法的有效性.

仿真实验中, 从交易金额、交易完成质量、物流情况 3 个维度分析 r_1, r_2 与目标节点 T 的交易, 每次交易都给出交易评价(5, 5, 5) 和(3, 4, 4), 这里 r_1 和 r_2 代表的是与目标用户 v 有直接交易经验的用户群, 模拟计算中, 类似 r_1 和 r_2 的用户各有 50 个. 目标节点 T 的当前信誉值为 500, 朋友间的信任关系已在前期积累完成. 源节点 S 根据自己的主观偏好从这 3 个维度发起对目标节点 v 的信任计算, 主观偏好

由交易评价不同维度的权重体系表示, 本例设 $W = \{0.7, 0.2, 0.1\}$. 实验分别根据 r_1 与 v 有共谋、无共谋 2 个方面研究其对信任计算的影响. 由于图 1 中, u 与 v 无直接交易经验, 故 DT_v 为 0, 信任计算的结果由以下 4 个因素决定: 信任的传递、推荐节点的推荐值、目标自身的信誉值以及时间因素, 时间因子 ρ 为 0.9, 链式网络采用充分信任策略. 实验结果如图 3 所示.

为进一步验证本文方法的有效性, 针对有共谋行为时对目标 v 的信任计算情形, 将本文方法与文献 [10] 和文献 [11] 的方法进行对比实验, 实验结果如图 4、图 5 所示.

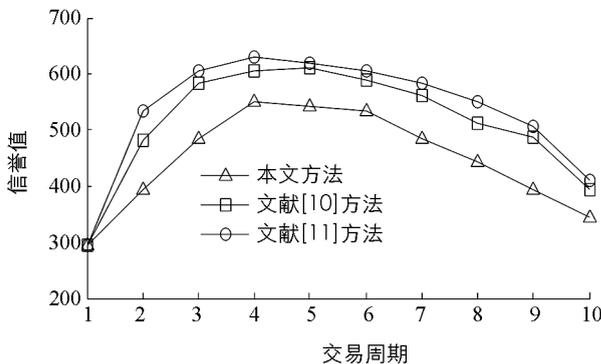


图 4 40% 的固定共谋节点对信任计算的影响

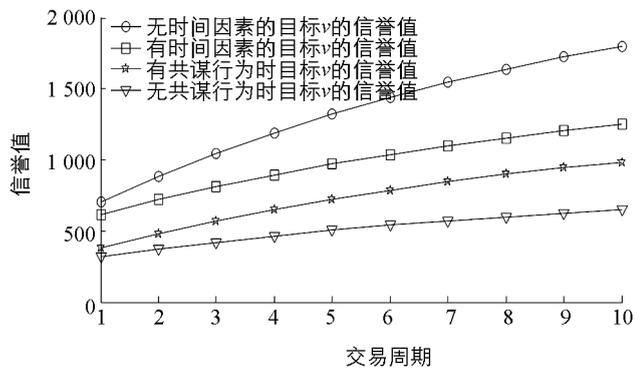


图 3 时间 / 共谋行为对目标 v 的信任计算的影响

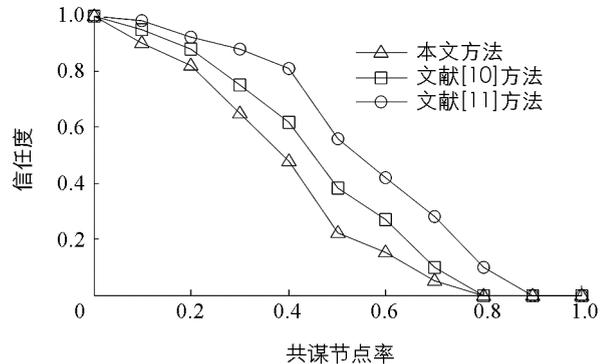


图 5 共谋节点变化时对信任度的影响

从图 4 可知, 在初始信誉值为 300 的情形下, 随着交易周期的增加, 3 种方法均能有效地识别共谋行为, 从而降低目标节点信誉度的值, 但本文方法更能有效地识别出共谋行为. 从图 5 可以看出, 在无共谋行为时, 随着共谋节点的增多, 目标的信任度在下降, 当所有节点均无共谋节点时, 信任度降为 0, 从实验结果可知, 随着共谋节点的增多, 本文方法对信任度的调整更及时, 更能有效地识别共谋行为.

4 结 论

建立和评价交易实体间的信任关系是在线社会网络中解决交易安全控制机制最有效的方法之一. 本文从多维度评价、时间因子、累积信誉、共谋欺诈等方面分析了各因子对信任计算的影响, 并提出优化链式网络复杂度的方法, 为在线社会网络中的信任计算问题提供了新的解决思路.

参考文献:

- [1] RESNICK P, ZECKHAUSER R. Trust Among Strangers in Internet Transactions; Empirical Analysis of eBay's Reputation System [J]. *Advances in Applied Microeconomics*, 2002, 11(02): 127-157.
- [2] SABATER J, SIERRA C. REGRET: Reputation in Gregarious Societies [C] // *International Conference on Autonomous Agents*. New York: ACM Press, 2001: 194-195.
- [3] 陈 武, 周 敏, 李虎阳. 一种基于回答集程序的三方协商新机制 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2014, 36(5): 209-213.
- [4] 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 [J]. *计算机研究与发展*, 2005, 42(5): 797-803.
- [5] 周 敏, 杨 波, 万军洲, 等. 保留隐私的计算最近点对协议 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 38(2): 111-115.
- [6] DUMA C, SHAHMEHRI N, CARONNI G. Dynamic Trust Metrics for Peer-to-Peer Systems [C] // *16th International*

Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA'05). Washington: IEEE Computer Society, 2005: 776–781.

- [7] 张 骞, 张 霞, 文学志, 等. Peer-to-Peer 环境下多粒度 Trust 模型构造 [J]. 软件学报, 2006, 17(1): 96–107.
- [8] GUO L T, YANG S B, WANG J, et al. Trust Model Based on Similarity Measure of Vector in P2P Networks [M] // Grid and Cooperative Computing-GCC 2005. Heidelberg, Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2005: 836–847.
- [9] 甘早斌, 曾 灿, 李 开, 等. 电子商务下的信任网络构造与优化 [J]. 计算机学报, 2012, 35(1): 27–37.
- [10] 蒋伟进, 许宇胜, 郭 宏, 等. 网络在线交易动态信任计算模型与信誉管理机制 [J]. 中国科学(信息科学), 2014, 44(9): 1084–1101.
- [11] 王 刚, 桂小林. 社会网络中交易节点的选取及其信任关系计算方法 [J]. 计算机学报, 2013, 36(2): 368–383.

Chain Trust Computation Algorithm Based on Multi-Dimensional Online Social Network

LI Xian-li

Network Information Center, Yangtze Normal University, Fuling Chongqing 408100, China

Abstract: For the complex linked and trust problem in online social networks, propose a method to reduce the complexity of the network, and combine with multi-dimensional user reviews, time decay, distinguish conspiracy and target customer's reputation calculation target dynamic trust value. Effectively solve the problem of trusted computing in online social networks.

Key words: online social network; multi-dimensional; trust network; trust computing

责任编辑 崔玉洁

