

在社交网络中综合的信任评估模型

孟宪佳¹, 马建峰^{1,2}, 卢笛¹, 王一川¹

(1. 西安电子科技大学 计算机学院, 陕西 西安 710071; 2. 通信信息控制和安全技术重点实验室, 浙江 嘉兴 314033)

摘 要: 提出了由交互经验计算用户态度, 以及利用交互时间序列计算用户行为模式变化的方法。进而利用态度、交互经验、行为模式 3 种信息综合建立新的信任评估模型。实验证明该模型能够适应社交网络的动态性及复杂性, 并可有效量化 3 种信息对信任的影响, 从而提高社交网络中直接信任评估模型的可用性与准确性。

关键词: 社交网络; 信任评估; 行为模式; 交互经验

中图分类号: TP309

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)12-0136-08

Comprehensive trust evaluation model in social networks

MENG Xian-jia¹, MA Jian-feng^{1,2}, LU Di¹, WANG Yi-chuan¹

(1. School of Computer Science and Technology, Xidian Univ., Xi'an 710071, China;

2. Science and Technology on Communication Information Security Control Laboratory, Jiaxing 314033, China)

Abstract: A method was proposed to evaluate the user's attitude from the interaction experience and deduce the user's behavior pattern by employing the interactive time series. Further, a new trust evaluation model was constructed by considering the following features: the user's attitude, the interaction experience and the behavior pattern. The experiment results show that the presented model can be adapted to dynamic and complex social networks, and can efficiently quantify the influence on the trust of three kinds of information, and enhance the availability and accuracy of direct trust evaluation model in social networks.

Key words: social networks; trust evaluate ; behavior pattern; interaction experience

1 引言

基于 Web 的社交网络出现于 20 世纪 90 年代^[1]。它的出现发展了大量的网络群体, 并随着无线技术及智能终端的普及成为了当今应用最广泛的信息交流平台之一^[2]。其用户的种类繁多, 个人用户可以利用其增进朋友及家人的感情, 商业用户可以建立代表自身企业的账户以推广其产品或发布最新的资讯。对于各式各样的用户需求滋生了大量的不同框架结构的社交网络。举例来说, Facebook 与人人网等可以建立自己的主页并在其主页内保存自己的照片、文章、多媒体文件等。广泛的流行性更促使了多样社会团体的加入, 其中不乏有恶意的用户以及恶意的应用程序的出现。Gross 等^[3]的研究称

每年均有大量的隐私泄露及诈骗事件发生在社交网络中。鉴于社交网络的开放性与流行程度, 建立一个用户可以诚实地分享自己的观念、思想以及经验而不必担心恶意的攻击和隐私泄露的社交网络环境已是迫切的任务。用户间的信任正是建立一个环境的基础。

用户信任的评估是一个复杂的过程, 信任关系作为一个主观的属性, 表现出动态性、事件差异性、非对称性、可传递性等多种特性^[4,5]。在社交网络中用户交互频繁, 网络结构随时发生变化对信任的评估增加了难度。为了能够准确地度量信任值, 本文对社交网络中可以获取且与评估信任值相关的信息做了分析。在如 Twitter、微博这样的社交网络中用户通过关注、聊天、转帖、回帖等方式以代替现

收稿日期: 2014-06-18; 修回日期: 2014-10-20

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目 (2012ZX02002003); 中央高校基本科研业务费基金资助项目 (JY10000903001)

Foundation Items: The Major National S&T Program(2012ZX02002003); The Fundamental Research Funds for the Central Universities (JY10000903001)

实生活中的交流。尽管这些交互内容往往与信任本身无关，但其反映出的用户交流频率、在交流中的活跃程度以及对某用户发布内容的认可程度都是进行信任评估的重要信息^[6]。图 1 阐述了在社交网络中影响信任评估的 2 个方面，其中用户特征在参与社会活动中得到修正，而社会活动又反作用于用户特征。这些信息对信任的影响被抽象为态度、交互经验、行为模式 3 个方面。

本文的主要贡献是提出了一种兼顾构建信任的态度、经验、行为模式三要素的信任评估方法。利用这种方法可以仅通过观察用户的交互记录和基本信息而计算社交网络中的信任状况。通过对 Twitter 公开数据的实验，证明其能够适应动态的社交网络环境，并且由于其仅使用用户交互的时间数据，对大型社交网络的信任评估有着良好的效率。

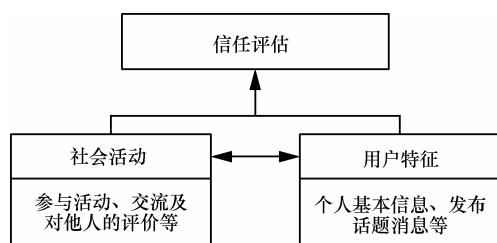


图 1 社交网络中的信息对信任评估的影响

2 相关工作

大量的工作用以评估社交网络中的信任关系，按照其出发点的不同可以分为 3 类：第一类是基于网络结构的模型，第二类是基于用户交互的模型，第三种是混合模型^[7]。

Golbeck 等^[8]提出了一种通过扩展 FOAF 网络，并利用语义网络构建的信任网络模型。这种模型可以让用户对交互的对象定义由完全不信任到完全信任的 9 个信任等级，并利用语义信息区分用户的交互场景并分配信任等级。之后运用扩展的 FOAF 网络模型推算未连通的节点间的信任关系。Caverle 等^[9]提出一种利用社会关系以及反馈机制共同作用的信任模型。用户在与其它用户交互后可以反馈对交互的评价信息，信任管理器按照用户节点的度来分配其评价重要性，并综合大量的反馈信息对用户的信任情况进行评估。

以网络结构为主的信任评估模型用宏观的角度量化了用户之间的信任关系，并研究了信任如何

在网络中传播。但是这种方案忽略了在社交网络中用户交互数量，频率以及内容等多方面重要因素。

Liu 等^[10]提出一种以用户交互模式为研究对象的信任预测模型。在此模型中定义了 2 种不同的等级对用户的行为以及在群体中的交互进行分类。第一类是单独用户的行为，这包括评论、回复消息等。第二类是可能发生交互的成对用户的行为，这包括交互发起者与转发者之间的交互，以及发起者与评论者的交互。此方案同时兼顾了时间因素造成的影响，利用学习算法计算时间影响参数并对用户的信任关系做出修正。

Nepal 等^[11]提出了 STrust 模型，这是一种完全基于用户交互的信任模型。该方案定义了 2 种不同类型的信任：第一种是 popularity trust，此类型的信任反映了对用户的接受和认可程度，这是从积极的方面来度量用户的信任度；第二种是 engagement trust，此类型的信任反映了在社会活动中被动的参与者的信任度。前者以关注者的数量以及发帖数、回复量等行为来度量，后者则是由访问社交网络的数量以及被其关注者的数量等参数来衡量。这种模型试图鼓励用户更多地参与社会活动以增加社会资源，进而提高整体的信任状况。

Trifunovic 等^[12]设计了一种基于机会网络的信任模型。机会网络支持用户利用不同的应用程序参与多种类型的交互。这种模型定义了 2 种互补类型的方案对信任评估：第一种是显式信任评估；第二种是隐式信任评估。显式信任评估是由网络结构计算，而隐式信任评估由用户的交互情况来计算。

基于用户交互模型方案和混合模型可以较好地评估用户的经验对信任产生的影响，并且可以区分在不同背景下的信任差异。然而这些方案并不能出色地衡量用户行为的变化以及这些变化对信任的影响。相反本文提出的方案立足于用户的交互经验，兼顾不同时期用户交互行为产生的影响，能够更准确地评估用户间的信任，并且避免网络结构的不稳定性以及语义信息的复杂性所带来的效率降低。

3 信任评估模型

在社交网络中，信任的获取来自用户态度、行为模式、交互经验 3 方面^[13]。这些要素并不是独立的，而是彼此之间相互作用的。本文先分别介绍这些要素对信任评估的影响，进一步综合这几种要素

进行社交网络中的信任评估。

态度是一种主观的属性，表示用户对一事物或另一个用户的喜爱程度。态度在一般情况下表现为消极或是积极 2 种状态并对信任评估的结果产生重要的影响。然而在一些情况下用户对未知事物保有模棱两可的态度，甚至存在消极与积极并存的情况，在这种情况下就需要对态度进行量化，使其成为信任评估的准确要素。本文利用综合的社会资源对态度进行量化为在区间[0,1]内的值，具体方法将在后文中阐述。用户对事物的态度并非固有不变的，交互经验和自身行为模式对其产生作用。

交互经验是用户在交互过程中产生的心里感受情况的综合，它分为显性和隐形 2 种。在社交网络中的交互经验指显性的经验，即每次用户交互后对此次交互正面或负面的印象^[14]。交互经验可以影响用户对事物的态度，从而增加或减少交互次数，进一步将影响用户的行为模式。

行为模式定义为用户在社交网络中交互的具体模式，它包括交互的频率，在交互过程处于主动或是被动等内容。行为模式受到用户性格、习惯以及长时间交互经验的影响。举例来说如果 2 个一贯交互密切的用户突然终止联络，这一反常的行为模式是值得研究的，它反映了用户之间信任关系的减弱。反过来说，如果用户的交互频率增加，这一行为模式代表着信任关系的增强^[15,16]。寻找并研究行为模式的变化已经在社会科学和心理学等学科中受到广泛的关注，这表明个体在社会活动中的行为模式所表现的信任关系远远超过单独经验所表现的信任关系。因此在社交网络中对信任关系进行有效的评估必须谨慎地考虑行为模式。

本文提出的信任评估模型如图 2 所示，用户在进行信任评估时对被评估的实体拥有初始的态度，

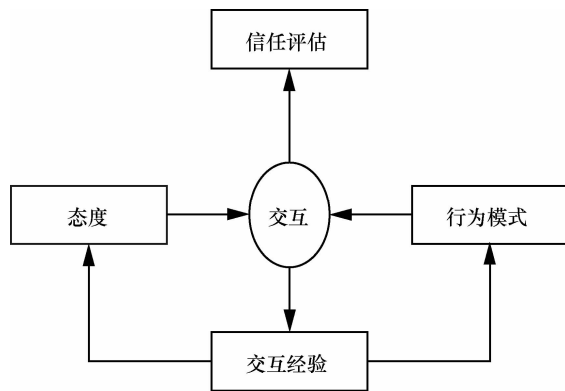


图 2 信任评估流程

进而和该实体进行交互产生交互经验。交互经验的消极或积极影响将反馈回初始态度，初始态度不断更新，对之后的信任评估产生影响。同时交互经验本身的特性，如交互时间、频率、交互方式的变化等将产生行为模式信息。这些信息与用户的态度共同决定了信任的评估。具体的评估方法将在以下几节中阐述。

3.1 用户态度模型

用户的态度主要来自 2 方面：始印象和交互经验产生的影响。本文通过分析用户之间的交互记录对其进行量化。

A 与 B 是一对进行交互的用户，令 $M = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_i\}$ 是 A 与 B 交互消息的序列， $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_i\}$ 是交互消息对应的时间序列。可以得到交互的平均时长为

$$t = (t_i - t_1) / i$$

由于用户的消息往往以对话的形式出现，那么可以从消息序列的连续性以及集中程度将其重新分为对话序列。为了达到此目的，首先引入由用户定义的平滑因子 ∂ ，并且令若相邻的 2 条消息 m_i, m_{i+1} 的时间序列差 $t_{i+1} - t_i < \partial t$ ，则 m_i, m_{i+1} 属于同一对话。进而遍历整个时间序列 T 得到新的对话序列 $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_j\}$ 。需要说明的是对话序列 C 并非是对消息序列 t 的划分，由于存在单独消息成为对话的情况，本文将这些消息做孤点处理，并不列入对话序列。

如前文提到的用户态度的形成是一个长期的过程，每一次用户的对话都对态度产生影响，本文将以对话作为影响态度的基本元素进行后续的量化。

从行为学角度来说，长期并且参与双方平衡并且积极地进行交谈将会获得较好的感受，反之将会带来不令人满意的结果。本文从这一角度出发，由对话中双方的行为来计算对话产生的经验效果。

定义 1 用户 A 与 B 由对话 C_i 产生的感受参数为

$$f(C_i) = \frac{-p \log p - (1-p) \log(1-p)}{-\log 1/2}$$

其中， p 是在对话 C_i 中由 A 用户发出的消息所占比例。 $f(C_i)$ 用熵函数的形式度量用户在对话中行为的平衡程度，参数 $-\log 1/2$ 用来对 $f(C_i)$ 标准化，使 $f(C_i)$ 的值在区间(0,1]之间。 $f(C_i)$ 的分布情况如图 3 所示。

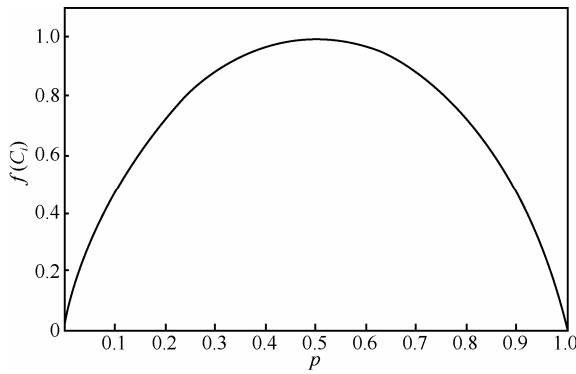


图 3 用户感受参数随消息比例变化分布

在得到 $f(C_i)$ 之后，用户通过自主设定的参数 ε 来度量交互带来的经验后果

$$\begin{cases} f(C_i) > \varepsilon, pf_i = 1, nf_i = 0 \\ f(C_i) < \varepsilon, pf_i = 0, nf_i = 1 \end{cases}$$

其中， pf_i 、 nf_i 表示用户在对话 C_i 中产生的正面经验及负面经验。 $pf_i = 1$ 表明对话 C_i 所带来的经验是正面的， $nf_i = 1$ 则表明对话 C_i 产生了负面的影响。 pf_i 、 nf_i 共同构成经验集合 $ec_i = (pf_i, nf_i)$ ，其中 pf_i 、 nf_i 不能同时为 0 或为 1。至此得到了每次对话产生的消极或积极影响，本文将利用这些交互经验的累计作用来计算用户在某一次对话后对交互对象产生的态度。

定义 2 用户 A 对 B 在对话 C_i 后的态度为

$$at(C_i) = \frac{r_i}{r_i + s_i + W} + ua$$

$$u = \frac{W}{r_i + s_i + W}$$

$$r_i = \sum_1^i pf_i, s_i = \sum_1^i nf_i$$

其中， r_i 表示对话 C_i 发生前，用户 A 获得的积极感受的次数，同理， s_i 表示在对话 C_i 发生前，用户 A 获得的消极感受的次数。参数 a 是用户 A 在交互前的初始态度。这一参数的获取是通过用户在社交网络中对交互对象的身份分组来获得的。通过对不同身份的分类最终将其映射到一个分为 5 个等级的态度初始值，具体如表 1 所示。参数 u 表示用户初始态度的不确定程度，它由参数 W 与交互经验共同作用。举例来说，如果 A 与 B 是现实中的好友， A 对 B 的态度在日常生活中已经很成熟，那么在社交网络中的交互对其影响将变得很小，则 A 可以设置参数 W 为一个非常大的值，以确保其初始态度的准确

性不受影响。如果 A 与 B 在社交网络中结识，彼此之间仅通过社交网络增进了解，那么在社交网络中的每一次交流都会对 A 的态度产生影响。那么 A 将 W 设为一个较小的值以确保在社交网络中的交互经验对初始态度进行修正。

表 1 用户初始态度

态度	初始值 a
绝对积极	0.8
积极	0.6
中立	0.4
消极	0.2
绝对消极	0

3.2 行为模式分析

用户的交互经验不仅对态度产生影响，同时交互行为本身也是信任评估必须考虑的因素。显而易见，交互次数代表着用户的亲密程度，同时也表示信任的程度。进一步来说，交互频率的突然变化也表示信任程度的增加或减少。本节阐述由用户交互信息推导行为模式对信任的影响情况。

用户在长期的交互过程中必定存在着交互行为的时期特性，本文定义用户的交互时期序列为 $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ 。此序列的时间间隔可以是固定值，也可以通过学习算法得到。对于不同的用户交互时期序列并不一定相同，这取决于用户的习惯、交互背景环境等多方面因素。在本文中序列 P 的起始时间必须与序列 T 相同，并且 T 必须是 P 的子集。在定义了交互时期序列后，本文定义序列 $C_p = \{c_{p_1}, c_{p_2}, c_{p_3}, \dots, c_{p_n}\}$ 为在每一交互时期中对话的次数。为了更好地说明用户在不同时期对话次数的变化情况，本文将每一时期的对话次数转换为其在总对话数中所占的比例

$$cp_n = \frac{c_{p_n}}{c}$$

其中， c 是对话的总数。

在得到了 cp_n 后，可以得到不同时期的用户交互对信任值的影响。

定义 3 用户在时期 n 的行为对信任的影响为

$$k_n = 1 + \frac{cp_n - \overline{cp}}{\max(cp_n) - \min(cp_n)}$$

其中, \overline{cp} 是对话次数在不同时期的均值, $\max(cp_n)$ 是所有时期中对话次数最多的比值, $\min(cp_n)$ 是所有时期中对话次数最少的比值。 k_n 的值域为 $[0,1]$ 。当时期的总数很少的时候, k_n 有可能会剧烈的变化, 并对信任的评估产生一定的误导。但是在长期稳定的交互过程中, k_n 将可以准确地反映行为变化对信任的影响。

3.3 综合信任评估模型

综上所述, 信任值的评估, 主要来自于用户的态度以及行为模式的影响。即使用户对某一事物拥有一定的态度, 在不同的时期也会产生不同的信任状况。例如, 用户 A 与用户 B 在经过长期频繁的交互后积累了一定的经验并产生了对 B 的态度, 然而在长期的中断交互后, 即使 A 对 B 的态度没有因为新经验的影响而发生变化。但是其行为本身也会降低 A 对 B 的信任。由此得到信任度的计算方法。

定义 4 用户 A 对 B 在对话 C_i 后的信任度为

$$tr(C_i) = k_{mi}at(C_i)$$

其中, k_{mi} 是对话 C_i 在时期 k_n 中对信任的影响系数。在兼顾了行为模式和交互经验之后, 本文提出的信任评估方案既不会像单纯的基于行为模式的方案使信任值的变化会出现剧烈的波动, 也不会像单纯的基于经验的方案, 当大量经验存在时信任值将趋于固定值。在下一章中将通过实验证明本文的方案在社交网络中更加接近于真实情况, 并且拥有较高的效率。

4 实验及算法分析

4.1 Twitter 公开数据的实验

现存的社交网络有多种, 例如, 世界范围内较为流行的 Twitter 和在中国应用广泛的人人网、微博等。这些社交网络都支持用户发送消息给自己的好友, 或是通过广播的形式发送到自己的关注者。这些消息的内容可以是图片、文字或是多媒体文件。用户可以编辑自己的好友列表将其分为多个分组, 并且分配权限到不同的分组使其可以浏览对应的内容。流行的社交网络还支持用户引用其他的用户发布的消息。这种引用信息的交互模式又分为 2 种, 即定向引用和广播, 定向引用是将引用信息定向地发送给特定用户, 本文视这种引用方式将生成 2 对用户的交互信息如图 4 所示。广播是指用户将引用

信息以公开的形式发送。这 2 种形式的引用产生的交互信息, 本文都视作一次对话, 并且产生积极的影响。对于如 Twitter 类交互不对称的大型社交网络, 很多交互是单向的, 也就是说用户发表消息后很可能由于留言数量过大或个人原因等不对其消息的评论者回复。对于这种类型的社交网络, 把消息发起者发出的消息本身视作一次长对话的开始, 而用户的回复以及消息发起人之后的应答都是这次会话的内容。

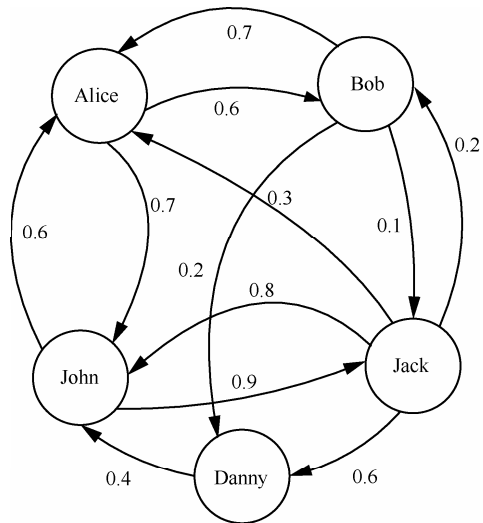


图 4 引用方式示例

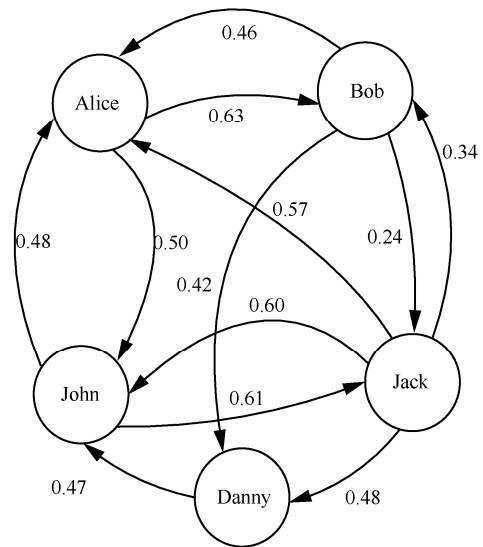
本文使用 Infocimps 网站上公布的公开 Twitter 数据来构建实验数据集。由于公开数据集中的数据类型繁多, 本文将其简化为 (用户信息、发送者、接收者、交互时间) 这一数据集以便使用。该数据集中包含 100 万不同的用户, 其中 620 000 个用户为活跃用户, 并且平均每天超过 9 230 000 条消息交换。以下对实验过程具体阐述。

首先使用交互数据建立有向图。图中的节点表示社交网络中的用户, 边代表用户之间的信任关系, 箭头起点为信任人。每条边的权值表明由用户基本信息得到的初始信任值。用户基本信息中包括用户在社交网络的交互之前拥有对其他用户的基础态度信息, 也就是在计算用户态度时的基础态度 a 以及基础态度的准确度参数 W 。由于初始信任网络信息不充足, 实验中以基础态度 a 代替基础信任值来构建基础信任网络。因此基础信任网络中的边的权值实际是基础态度值, 对于用户信息中缺少基础态度值的用户组, 初始信任值将被默认地设置为 0.5, 且不在初始信任网络图中显示。因此在基础信任网络图中存在单向边。图 5(a) 是实验生成的初始信任网络图的一个子图。

然后本文由用户的交互信息计算每组用户的行为模式影响系数。此次实验观察了 30 天中用户交互频率的变化, 并且以 2 天为一个时期对其进行分析。图 6 为几组用户的行为变化曲线。最后通过本文提出的信任评估方法计算出用户在最近一个时期的信任值, 并用此值更新基础信任网络图中的边的权值。图 5(b) 是以图 5(a) 为基础计算得到的新的信任网络图。



(a) 基础信任网络



(b) 更新后的信任网络

图 5 信任网络

在本文提出的信任评估算法中，参数 W 是用户间基础信任值的准确度参数。本文对 2 名设置相同基础信任值，不同 W 值的用户信任评估记录进行测试，测试采用一个月的交互数据为样本，分别选取的 W 值为 10、1 000、10 000，图 7 显示了不同 W 值对信任评估的影响。

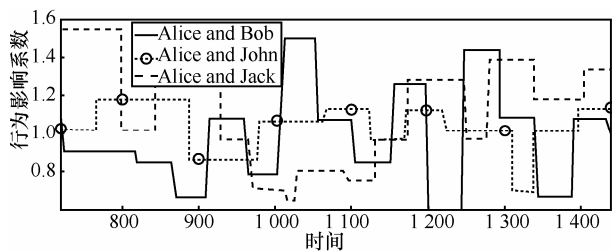


图 6 3 组用户的交互行为变化曲线

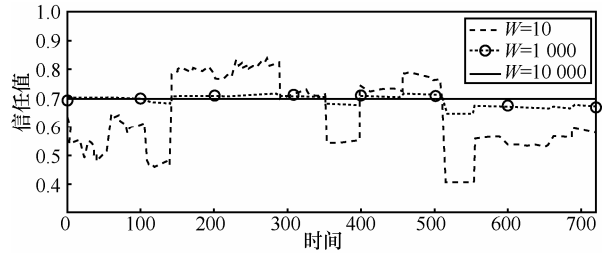


图 7 W 取值对信任评估的影响

本文对 5 组用户的信任评估情况与 Josang^[17] 提出的基于交互经验的信任评估模型，以及 Adali^[18] 提出的基于行为模式的信任评估模型在评价准确度上做出比较。这 5 组用户均以两天为一周期对对方做出信任度评价，评价值在区间[0,1]之间。3 种方案分别在有用户信任评价的时期做出信任值评估，并且计算信任误差。表 2 是 3 种方案分别对 5 组用户的信任评估的误差情况，可以看到 Adali 的方案仅在对 Alice 和 Bob 的信任评估时拥有较低的误差，而对其他 4 组用户的信任度评估都差强人意。这是因为完全基于行为模式的方案，往往会由于某一时期较大的行为变化，而使信任值产生大的波动，导致较高的误差。Josang 的方案平均误差较之 Adali 的小，可是依然比不上本文提出的信任评估模型，这是由于完全基于经验的方案，对以往的交互信息的影响有着过高的估计，对于各个时期的影响因素考虑较少，而在实际的人类活动中，信任往往受到较近时期的影响更多，同时也会因为某个重要的事件产生极大的变化。图 8 是 30 天内 3 种方案预测信任误差的分布情况。可以由图中观察到，本方案在全时间内保持较低的计算误差，Josang 的方案总体而言误差变化比较平稳但是有增高的趋势，在最后的一段时间稳定在一个较高误差的位置。Adali 的方案平均误差与 Josang 的持平，但是其波动较大，由其模型的原理可以预测，在更加长期的信任评估中将会继续保持波动的特性。

表 2 3 种方案对 5 组用户信任评估的误差

用户组	Adali	Josang	本方案
Alice-Bob	0.09	0.12	0.11
Alice-Jack	0.13	0.11	0.14
Alice-John	0.12	0.13	0.09
John-Jack	0.14	0.12	0.13
Jack-Bob	0.13	0.10	0.08
平均误差	0.122	0.116	0.11

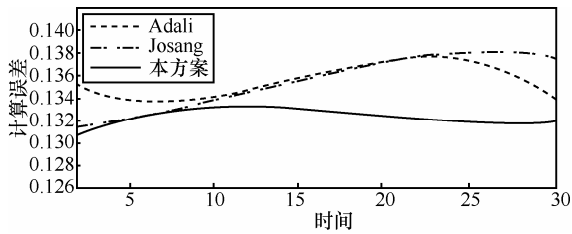


图 8 3 种方案的信任评估误差比较

4.2 算法分析

本文提出的信任评估模型在计算用户态度时所需的时间复杂度为 $O(n^2)$ ，在计算行为因子时的时间复杂度为 $O(n^2)$ ，在计算信任值时的时间复杂度为 $O(n)$ ，因此算法的总体时间复杂度为 $O(n^2)$ 。对于大型社交网络中所有的信任关系评估会产生较大的时间代价，然而从单个用户的角度出发，信任评估的准确度才是其保证隐私安全的首要考虑的目标。另外，实际的社交网络中集群效应十分明显，集群的规模并不是非常庞大，我们可以通过启发式方法对我们的算法进行改

进，从而适应集群效应，并减少时间复杂度。图 9 给出了具体的算法流程。

5 结束语

社交网络是人们交互信息以及企业推广产品的交流平台。信任是用户能够公开、安全地交互信息的重要保障。本文提出综合用户态度、行为模式和经验的信任评估模型以适应社交网络的高度用户参与性与实时性。通过实验表明此方案在社交网络中的信任评估较现有方式更贴近真实情况。在日后的工作中有以下几方面的内容可以进一步的研究：信任作为一个主观属性，在不同背景下往往，本文的方案对环境变化不敏感，这虽可以增加效率，但在某些精确的场合会造成较大的误差，日后可以通过语义网或主观逻辑^[19]等技术加入对交互环境的区分功能。本文的信任评估建立于交互的基础上，对于没有交互信息的用户间的信任评估需要进一步的研究。

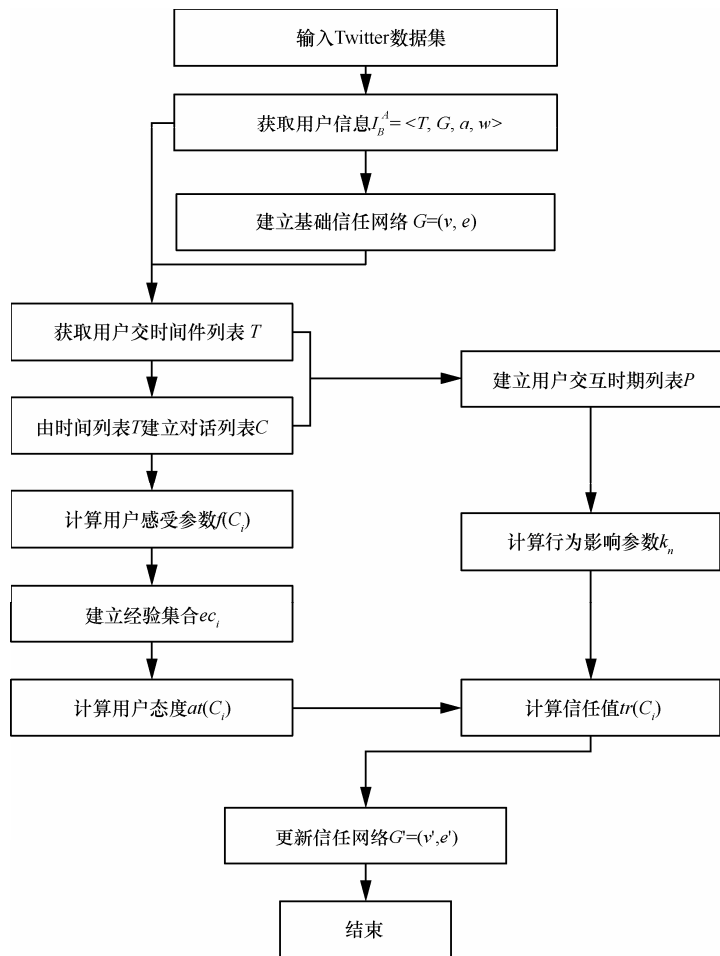


图 9 算法流程

参考文献:

- [1] GOLBECK J A. Computing and Applying Trust in Web-Based Social Networks[D]. University of Maryland at College Park, MD, 2005.
- [2] HUMPHREYS L. Mobile social networks and social practice: a case study of dodgeball[J]. *Comput Mediated Comm*, 2007, 13(1):341-360.
- [3] GROSS R, ACQUISTI A. Information revelation and privacy in online social networks[A]. *Proceedings of ACM workshop on privacy in the electronic Society(WPES'05)[C]*. New York, 2005.71-80.
- [4] ROTTER J B. A new scale for the measurement of interpersonal trust[J]. *J Personality*, 1967,35(4):651-665.
- [5] BEATTY P, REAY I, DICK S, *et al*. Consumer trust in e-commerce Web sites: a metastudy[J]. *ACM Comput Surv*, 2011, 43(3):1-46.
- [6] GOLBECK J. The dynamics of Web-based social networks: membership, relationships, and change[J]. *First Monday Volume 12 Number*, 2007, 11:1-18.
- [7] SHERCHAN W, NEPAL S, PARIS C. A survey of trust in social networks[J]. *ACM Comput Surveys*, 2013, 45(4):47.
- [8] GOLBECK J, PARSIA B, HENDLER J. Trust networks on the semantic Web[A]. *Proceedings of the 7th International Workshop on Cooperative Intelligents[C]*. 2003.238-249.
- [9] CAVERLEE J, LIU L, WEBB S. Social trust: tamper-resilient trust establishment in online communities[A]. *Proceedings of the 8th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries(JCDL'08)[C]*. ACM Press, NEW York, 2008.104-114.
- [10] LIU H F, LIM E P, LAU W H W, *et al*. Predicting trusts among users of online communities: an opinion case study[A]. *Proceedings of the 9th ACM Conference on Electronic Commerce(EC'08)[C]*. New York, 2008.310-319.
- [11] NEPAL S, SHERCHAN W, PARIS C. STrust: a trust model for social networks[A]. *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom'11)[C]*. 2011.841-846.
- [12] TRIFUNOVIC S, LEGENDER F, ANASTASIADES C. Social trust in opportunistic networks[A]. *Proceedings of the INFOCOM IEEE conference on Computer Communications Workshops[C]*. 2010. 1-6.
- [13] NOOR T H, SHENG Q Z, ZEADALLY S, *et al*. Trust management of services in cloud environments: obstacle and solutions[J]. *ACM Comput Surv*, 2013,46(1):12.
- [14] WANG Y H, MUNINDAR P. Evidence-based trust a mathematical model geared for Multiagent systems[J]. *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems*, 2010, 5(3):1-25.
- [15] ALI M, AHMED, OSVALDO S. The relationship between behavioral and attitudinal trust: a cross-cultural study[J]. *Review of Social Economy*, 2009,67(4):457-482.
- [16] CAPRA C M, LANIER K, MEER S. Attitudinal and Behavioral Measures of Trust: a New Comparison[Z]. Working Paper, Department of Economics, Emory University, 2008.
- [17] JOSANG A. A logic for uncertain probabilities[J]. *Uncert, Fuzin Knowl-based Syst*, 2001, 9(3): 279-311.
- [18] ADALI S, ESCRIVA R, GOLDBERG M K, *et al*. Measuring behavioral trust in social networks[A]. *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatica(ISI'10)[C]*.2010. 150-152.
- [19] JOSANG A. Subjective Logic[Z].Working Paper, 2013.

作者简介:



孟宪佳 (1985-), 男, 陕西西安人, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为面向服务的计算、信任管理、网络结构。



马建峰 (1963-), 男, 陕西西安人, 博士, 西安电子科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为计算机安全、密码学、移动与无线网络安全。



卢笛 (1983-), 男, 陕西安康人, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为虚拟化技术、存储系统、操作系统安全、虚拟化资源调度。



王一川 (1983-), 男, 河南开封人, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为云计算环境下密钥管理、虚拟节点间安全通信。