

基于在线社交网络的用户信任传递建模与分析

阳 雨,胡亚洲,郭 勇,邓 波

(北京系统工程研究所,北京 100101)

摘 要: 用户之间的信任程度是影响用户社交网络行为的重要因素,但目前针对在线社交网络中用户之间信任值及其传递规律的研究较少。为此,对在线社交网络中的用户信任传递进行建模。通过分析用户信任值影响因素量化用户信任值,根据链接网络关系建立信任传递模型,从而给出评价指标。基于微博数据的实验结果表明,该模型能够准确描述好友之间的信任传递,为好友互动和好友建立提供有效预测和推荐。

关键词: 在线社交网络; 用户亲密度; 用户互动; 信任衰减; 信任值; 信任传递

中文引用格式: 阳 雨,胡亚洲,郭 勇,等. 基于在线社交网络的用户信任传递建模与分析[J]. 计算机工程,2018,44(11):265-270.

英文引用格式: YANG Yu, HU Yazhou, GUO Yong, et al. Modeling and analysis of user trust transfer based on online social network[J]. Computer Engineering, 2018, 44(11): 265-270.

Modeling and Analysis of User Trust Transfer Based on Online Social Network

YANG Yu, HU Yazhou, GUO Yong, DENG Bo

(Beijing Institute of System Engineering, Beijing 100101, China)

【Abstract】 The degree of trust between users is an important factor influencing the behavior of users' social network. However, there are few studies on the trust value between users and its transmission rule in online social network at present. To this end, the user trust transfer in the online social network is modeled. By analyzing the influencing factors of user trust value, the user trust value is quantified, and the trust transfer model is established according to the link network relationship, so the evaluation indexes are given. Experimental results based on Weibo data show that this model can accurately describe trust transmission between friends, providing effective prediction and recommendation for friend interaction and establishment of friends.

【Key words】 online social network; user intimacy; user interaction; trust attenuation; trust value; trust transfer

DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0048029

0 概述

随着移动互联网的发展,在线社交网络^[1]在人们生活中扮演着重要的角色。人们通过在线社交平台(如微博、微信、QQ等),不仅能够维护社交网络中的好友关系,而且可以更加便捷地获取感兴趣的信息。在社交网络中,人们不仅倾向于关注已认识的朋友,而且希望与兴趣相似的新朋友建立联系^[2]。因此,在线社交网络平台相继推出好友推荐服务,例如,QQ推出“可能认识的人”服务,微博推出“可能感兴趣的人”“可能喜欢的大咖”等推荐服务。社交网络好友推荐主要有基于链接和基于内容2种基本推荐形式。基于链接的推荐方式是根据用户之间的

网络链接关系,利用基于链接的用户权威度排序算法(例如PageRank^[3]、HITS^[4]、TrustRank^[5]等)或其变形进行好友推荐;基于内容的推荐方式则是根据标签、关键词、地理位置等信息进行相似性推荐^[6-7]。

尽管在线社交平台提供不同的推荐服务,但是普遍缺乏对推荐好友信任度和实时性的分析,时常存在推荐的好友并不是用户最希望建立链接的情况。同时,用户的互动和转发行为是在线社交平台信息传播的重要途径,用户之间的信任度是影响互动和转发行为的重要因素。因此,在线社交网络中用户信任成为需要关注的重要问题。但是,目前针对用户信任度的研究大多是直接对用户信任度量化,缺乏对于用户信任度传递的建模和分析。

基金项目: 国家自然科学基金(61402486)。

作者简介: 阳 雨(1992—),男,硕士研究生,主研方向为数据挖掘;胡亚洲,硕士研究生;郭 勇、邓 波,研究员、博士。

收稿日期: 2017-07-20 **修回日期:** 2017-09-18 **E-mail:** fgyangsjtu@gmail.com

针对上述问题,本文建立在线社交网络的用户信任传递模型。首先通过分析邻接用户之间的共同好友、互动关系、互动时间等因素对邻接用户信任度进行量化,将量化结果作为链接边权值;然后根据链接关系计算 2 个用户之间的信任值;最后结合好友链接的建立和互动情况对构建的信任传递模型进行评估。

1 相关工作

目前,在线社交平台中的用户可信度引起了学术界的广泛关注。文献[8]提出了基于局部信息的信任推荐系统,该系统通过计算朋友之间的信任度进行推荐,能够有效解决冷启动等问题;文献[9]对资源层和属性层的信任进行研究,验证了信任对于推荐准确度的影响;文献[10]提出基于信任的个性化推荐方法;文献[11]利用微博内容的可信度来描述用户的可信度;文献[12]分析了 Tweet 可信度感知结果,同时对特征用户对可信度评估的影响进行分析;文献[13]通过人工评估的方法对 Tweet 信息的可信度进行评估分析;文献[14]提出一种基于信任隐私保护的好友推荐方法,该方法通过研究用户和推荐者之间的链接信任关系,同时考虑略去用户的隐私信息进行好友推荐;文献[15]提出基于信任概率的推荐模型,该模型将用户之间兴趣的相似程度作为转移到目标节点的转移概率,以驱动商品推荐;文献[16]则将用户间的相似性和可信度纳入社区演化的分析研究中。

此外,文献[17]将用户间的好友关系强度定义为信任度并引入到相邻边拓扑信息相似性计算中,结合用户兴趣模型导出用户社交圈,提出一种好友推荐算法;文献[18]利用用户之间信息的相似度进行用户聚类,提出了一种基于用户信息的社交网络信任评估方法;文献[19]针对当前社交网络中基于用户信任的 Web 服务推荐算法覆盖率不足的问题,提出了一种新的混合信任度算法,用以解决因单一信任度算法数据稀疏性造成推荐结果不佳的问题;文献[20]针对数据稀疏问题和联系不可靠现象对传统社交网络推荐带来的影响,提出一种基于信任关系重建和社交网络传递的推荐算法。

通过分析可知,当前研究工作存在以下问题:1)研究重点关注信任的分析、度量,缺乏对于信任在链接网络中传递的考虑;2)未考虑信任度会随着时间的变化而衰减变化的特性,从而影响用户的行为和好友推荐的准确度;3)未将用户间的互动性纳入到用户间信任度量中。

2 建模分析

为建立用户信任传递模型,本节从用户链接、用户信任和信任传递 3 个方面对信任传递中的基本问题和概念进行分析。

2.1 用户链接

在线社交平台中的众多不同用户通过用户之间好友关系建立链接。如果 2 个用户是好友关系,则两者之间有一条边。因此,在线社交网络平台的用户链接网络可以用 $G = (N, E)$ 表示,其中, N 为链接网络中所有用户节点集合, E 为链接网络中所有边的集合。为形式化描述链接网络,以图 1 中用户节点 A 为例, A 的好友集合为 $\{B, C, D, E\}$ 。

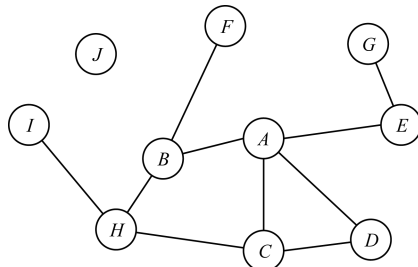


图 1 用户链接网络

为方便下文描述,本文定义 k 跳好友和陌生人的概念。

定义 1 (k 跳好友) 从原始用户节点经过最短 k 条边到达的目标用户节点,称为原始用户节点的 k 跳好友。如图 1 中,用户节点 B 为 A 的 1 跳好友,用户节点 I 为 A 的 3 跳好友。

定义 2 (陌生人) 从原始用户节点不能经过有限条边到达目标用户节点的用户,称为原始用户节点的陌生人。如图 1 中,用户节点 J 为 A 的陌生人。

本文使用邻接矩阵 T 来描述用户社交网络的链接关系,如果用户 1 加用户 2 为好友(或是用户 1 关注用户 2),则邻接矩阵元素 $T_{12} = 1$ 且 $T_{21} = 1$, 否则 $T_{12} = 0$ 。图 1 中所示用户链接网络的邻接矩阵如下:

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

可以看出上述矩阵是对称矩阵,即对于用户 i 和用户 j , 有 $T_{ij} = T_{ji}$ 。

2.2 用户信任

信任是指相信对方是诚实、可信赖的,通常用于描述 2 个用户之间的特征,在社交网络平台上,用户之间的信任很难被直观量化。文献[21]针对单一用

户的可信值进行分析研究, 但是没有考虑到用户信任是 2 个用户之间的关系特征。本文将用户信任作为 2 个用户之间关系好坏的评价指标, 用户信任会影响用户之间的互动行为和用户链接网络的变化, 将 $T_{1 \rightarrow 2}$ 记作用户 1 对于用户 2 的信任值。

类比真实社交网络可以发现, 当两用户间的共同好友越多、互动越多、兴趣点越相似时, 可以认为两用户是越亲密、越信任的。以图 1 中用户 A、B 为例, 当 A 和 B 拥有较多共同好友和共同兴趣, 且 A 和 B 经常相互转发、评论、点赞时, 可以认为 A、B 之间信任值 $T_{A \rightarrow B}$ 和 $T_{B \rightarrow A}$ 较高。同时, 两用户之间的信任会随着时间的变化而变化。例如, 当 A、B 之间长时间没有互动, 则可以认为 A、B 的信任值 $T_{A \rightarrow B}$ 和 $T_{B \rightarrow A}$ 比 A、B 经常互动时低。

2.3 信任传递

在社交网络中, 人与人之间的信任具有传递性, 以图 1 中 A、E、G 为例, A 与 E 是好友, E 与 G 是好友, 则 A 对 E 的信任值 $T_{A \rightarrow E}$ 经 E 和 G 的连接传递到 G, 形式化表述为:

$$T_{A \rightarrow G} = T_{A \rightarrow E} \otimes T_{E \rightarrow G} \quad (1)$$

其中, $T_{A \rightarrow G}$ 、 $T_{A \rightarrow E}$ 、 $T_{E \rightarrow G}$ 分别为 AG、AE 和 EG 之间的信任值, $\otimes$ 是信任传递运算符。

信任值具有可合并特征, 以图 1 中 A、B、C、H 节点为例, A 与 H 的信任值可以表述为:

$$T_{A \rightarrow H} = T_{A \rightarrow B} \otimes T_{B \rightarrow H} \oplus T_{A \rightarrow C} \otimes T_{C \rightarrow H} \quad (2)$$

其中, $\oplus$ 是信任合并运算符。

3 信任传递模型

本节提出一种信任传递模型, 该模型基于用户链接网络 and 用户社交信息, 通过用户之间的信任和衰减因子, 对源用户和目标用户之间的信任值进行评估。

3.1 模型流程

如图 2 所示, 信任传递模型主要包括用户信任计算和信任传递分析两部分内容。

1) 用户信任计算是通过分析用户链接网络 and 用户社交信息, 对具有好友关系 (1 跳好友) 的用户之间信任值进行度量分析。

2) 信任传递分析是通过分析信任值在链接网络中的传播规律, 计算源用户节点对目标用户节点的信任值。

信任传递分析的结果同时可以反馈给用户链接网络 and 用户社交信息。例如, 计算出源用户节点到目标用户节点之间的信任值之后, 可以给源用户节点进行好友和热门信息的推送, 从而影响用户链接网络的结构 and 用户社交信息的内容。

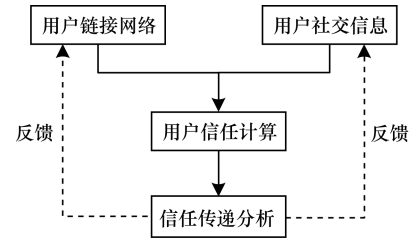


图 2 信任传递模型框图

3.2 用户信任计算

用户信任计算是对具有好友关系 (1 跳好友) 的用户之间信任值进行度量评估, 是信任传递模型中重要的部分。

用户之间的信任值可以从亲密度、互动情况和时间衰减三方面考虑, 表示为:

$$Trust_{ij} = (Si_{ij}, In_{ij}, At_{ij}) \quad (3)$$

其中, $Trust_{ij}$ 是用户 i 对用户 j 的信任值, Si_{ij} 是用户 i 、 j 之间的亲密度, In_{ij} 反映了用户 i 、 j 之间的互动情况, At_{ij} 是用户 i 、 j 之间的时间衰减因素。下面对这三方面进行详细介绍。

1) 用户亲密度

用户亲密度用于描述用户 i 、 j 之间的社交关系中的亲密性和相似程度, 包括用户之间的共同好友和共同兴趣。通过分析可知: 当用户之间的共同好友越多时, 用户之间的社交重叠越大, 用户之间的社交信任值越高; 当用户之间的共同兴趣越多时, 用户相似度越高, 用户之间的信任值越高。

假设用户 i 的所有好友集合为 F_i , 关注的兴趣集合为 I_i , 用户 j 的所有好友集合为 F_j , 关注的兴趣集合为 I_j , 则用户 i 、 j 之间的共同好友为 $F_i \cap F_j$, 用户 i 、 j 之间的共同兴趣为 $I_i \cap I_j$ 。因此, 用户 i 对用户 j 的亲密度可以表述为:

$$Si_{ij} = \frac{|F_i \cap F_j|}{|F_i|} \cdot \frac{|I_i \cap I_j|}{|I_i|} \quad (4)$$

其中, $\frac{|F_i \cap F_j|}{|F_i|}$ 是 i 、 j 之间的共同好友在用户 i 好友中的比例, $\frac{|I_i \cap I_j|}{|I_i|}$ 是 i 、 j 之间的共同兴趣在用户 i 兴趣中的比例。

2) 用户互动情况

用户之间的互动情况是用户信任程度的重要体现, 在其他条件相同的情况下, 用户之间互动越密切, 可以认为用户之间信任程度越高。

在线社交网络之间常见的用户互动行为包括转发、评论和点赞。转发是指用户将别人发布的内容转载成自己的内容; 评论是指对别人的内容发表自己的看法; 点赞是指对别人发布的内容表示赞同、赞许。文献[21]对微博用户的转发行为进行了分析,

指出用户的转发行为与转发来源的关系。

假设用户 i 从好友处转发的状态数目总和为 N_i , 从好友 j 处转发的状态数目为 N_{ij} , 用户 i 给所有好友评论次数总和为 C_i , 给好友 j 评论次数为 C_{ij} , 用户 i 给所有好友点赞次数总和为 P_i , 给好友 j 点赞次数为 P_{ij} , 则用户 i 对用户 j 的互动情况可以表述为:

$$\begin{cases} In_{ij} = \alpha \cdot \frac{N_{ij}}{N_i} + \beta \cdot \frac{C_{ij}}{C_i} + \lambda \cdot \frac{P_{ij}}{P_i} \\ \alpha + \beta + \lambda = 1 \end{cases} \quad (5)$$

其中, α, β, λ 代表转发、评论和点赞在互动情况中重要性的比例。根据对真实社交网络的研究可以发现, 转发、评论和点赞行为对用户互动情况重要性的影响是依次递减的, 因此, 实验中设定转发、评论和点赞行为的重要性比例为 $\alpha = 0.5, \beta = 0.3, \lambda = 0.2$ 。

3) 时间衰减

时间衰减因素是指用户之间的信任关系会随近期交互时间而衰减变化。如果 2 个用户近期经常有互动行为(转发、评论和点赞), 则 2 个用户的信任程度较高; 反之, 如果 2 个用户之间很久没有交互, 则其间信任程度会降低。因此, 本文引入时间衰减因素 At_{ij} 来描述用户信任程度随时间而变化的规律, 如下式所示:

$$At_{ij} = e^{-kt} \quad (6)$$

其中, k 是参数, t 是用户 i 和用户 j 之间最后一次交互距信任值计算时刻的时间间隔(单位为 d)。根据实验结果分析, 当实验中设置 $k = -1/1000$ 时, 可以较好地反映时间衰减因素 At_{ij} 相对时间的变化规律。

为量化用户 i 对用户 j 的信任值 $Trust_{ij}$, 同时考虑到用户 i 和用户 j 之间的亲密度、互动情况和时间衰减因素均会对用户 i, j 产生影响, 本文使用量化公式如下:

$$Trust_{ij} = Si_{ij} \cdot In_{ij} \cdot At_{ij} \quad (7)$$

3.3 信任传递分析

图 1 中用户 A 对用户 F 的信任值 $Trust'_{AF}$ 可以通过计算 $Trust'_{AB}$ 和 $Trust'_{BF}$ 得出。同时, 由网络传播规律可知, 对于 $Trust'_{AB}$ 在 $B \rightarrow F$ 的链接上会产生衰减, 本文假定衰减因子为 α_a , B 添加(关注)好友数为 n , 则用户 A 对用户 F 的信任值 $Trust'_{AF}$ 为 $(1 - \alpha_a)/n \cdot Trust'_{AB} \cdot Trust'_{BF}$ 。

信任传递分析主要包括 3 个步骤: 信任值归一化, 链接路径搜索和信任值计算。

1) 信任值归一化: 用户 i 添加(关注)的所有好友集合为 K , 令 $\sum Trust'_{it} = 1, t \in K$, 则对于 i 的好友 j , $Trust'_{ij} = Trust_{ij} / \sum Trust_{it}, t \in K$ 。

2) 链接路径搜索: 在用户链接网络中搜索从源用户到目标用户的所有无环路径, 路径集合为 EE 。

链接路径搜索是后续信任值计算的基础。本文使用改进的广度优先搜索算法, 即从源节点搜索到目标节点时不直接返回, 而是遍历所有无环链路之后返回所有路径集合 EE 。

3) 信任值计算: 依据链接路径搜索结果和链接传播规律, 计算从源用户到目标用户之间的信任值。

用户信任值计算具体过程如算法 1 所示。

算法 1 用户信任值计算算法

输入 用户社交网络 G 和参数 $\alpha, \beta, \lambda, k, \alpha_a$

输出 用户信任值矩阵 Ts

```
1. Initialize  $\alpha, \beta, \lambda, k, \alpha_a$ 
2. for  $\forall T_{ij} \in T$  // 计算邻接好友间信任值
3. if  $T_{ij} = -1$ 
4. calculate  $Trust_{ij}$ 
5. end if
6. end for
7. for  $\forall T_{ij} \in T$  // 信任值归一化
8.  $Trust'_{ij} = Trust_{ij} / \sum Trust_{it}, t \in K$ 
9. end for
10. if  $T_{ij} = 1$  // 用户  $i, j$  为 1 跳好友
11.  $Ts_{ij} = Trust'_{ij}$ 
12. else
13. find  $EE_{ij}$  // 链接路径搜索
14. for  $ee_k \in EE_{ij}$  // 信任计算
15.  $Ts_{ij} = \sum_{k=1}^{|EE_{ij}|} Trust'_{ce_k}$ 
16. end for
17. end if
18. return  $Ts$ 
```

4 实验与结果分析

4.1 实验设置

由于微博数据相对开放并易于获取, 本文基于微博数据开展用户信任传递建模研究。

实验首先通过新浪微博的 API 接口, 选取 10 个活跃的用户作为种子节点, 以用户的链接关系共计爬取 12 648 个用户数据。由于大 V 用户在信任传递中具有意见领袖作用, 同时微博好友和粉丝数严重不对等, 因此在实验中不对大 V 用户的信任传递进行分析。同时, 根据以下条件筛选出不活跃用户: 1) 好友总数和关注好友总数均小于 20; 2) 用户转发、评论和点赞微博数均小于 20; 3) 用户超过 1 个月没有微博或好友数据更新。最后得到 2 034 个用户, 共计 486 921 条微博数据。

实验采用文献[21]中提出的微博分析方法, 对用户微博数据的转发、评论和点赞进行处理, 以对用户互动情况进行量化分析。

实验采用交叉验证的方法, 将数据集分为训练集(Train)和测试集(Test)两部分, 比例分别为 80%

和 20%。针对从新浪微博获取的数据集中的好友数据和微博数据,对于单个用户来说,可以将该数据集分为好友数据集和微博数据集,使用全部好友和微博数据的前 80% 作为训练集,后 20% 数据作为测试数据集。

4.2 评价指标

为评价用户信任传递模型的有效性,本文使用的评价指标包括准确率 *Precision*、召回率 *Recall*、F1 值 *F1-score* 和平均逆序数 *Inv_{ave}*。这 4 种评价指标的定义如下:

$$Precision = \frac{|Test \cap Trust_k|}{|Trust_k|} \quad (8)$$

$$Recall = \frac{|Test \cap Trust_k|}{|Test|} \quad (9)$$

$$F1-score = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (10)$$

$$Inv_{ave} = \frac{Inve}{|Test \cap Trust_k|} \quad (11)$$

其中, *Trust_k* 为信任值排序集合, *Inve* 是逆序对数。

准确率、召回率和 F1 值是为了分析信任传递模型对用户好友添加、互动行为预测而引入的评价指标。

平均逆序数是为了评价信任传递中信任值大小排序问题而引入的评价混乱度的指标。当平均逆序数较小时,一定程度上反映信任传递中信任排名的正确程度较高;反之则反映信任排名的正确程度较低。

4.3 结果分析

图 3 为信任值传递结果,从图 3 中可以看出,随着好友跳数的增加,用户信任值会迅速下降,当好友跳数为 3 时,好友信任值总和会下降到 0.4 以下。实验结果也验证了用户对好友以及好友的好友信任度较高,对跳数较远的人信任度较低的现象。同时可以发现,随着衰减因子的增加,相同跳数的用户信任值也相应降低。由此可知,信任衰减因子越大,用户的信任值传递下降得越快。

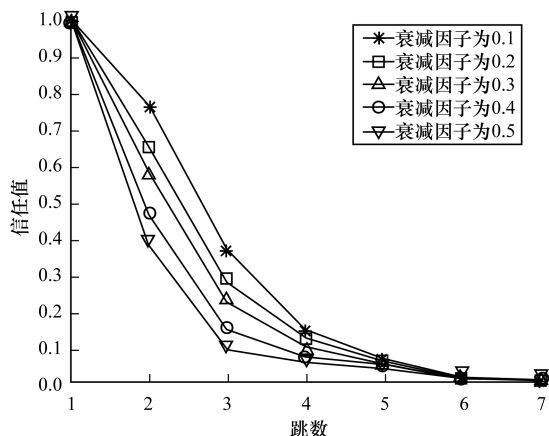


图 3 信任值传递结果

表 1 给出了在不同测试集中用户信任值传递的分析结果,下文将针对好友数据集和微博数据集分别开展分析。

表 1 数据集分析结果

数据集类别	数据比例/%	准确率/%	召回率/%	F1 值/%	平均逆序数
好友数据集	20	14.21	4.36	6.67	0.3
	40	12.45	8.42	10.05	0.8
	60	9.36	12.89	10.84	1.3
	80	7.63	15.39	10.20	1.8
	100	5.59	19.21	8.66	2.4
微博数据集	20	18.32	6.24	9.31	0.9
	40	16.21	10.16	12.49	1.3
	60	13.16	14.39	13.75	1.6
	80	10.21	18.21	13.08	2.3
	100	6.67	20.32	10.04	3.1

针对好友数据集,如图 4 所示,随着数据量的增大,用户信任传递分析的添加好友准确率逐渐下降,召回率不断升高,F1 值在两者之间,呈现先增加后减少的趋势,平均逆序对数则呈现逐渐增大的趋势。由此可知,当取测试集中前一部分好友时,用户信任传递分析的结果准确率较高,同时对于好友添加顺序的分析准确度也越高。

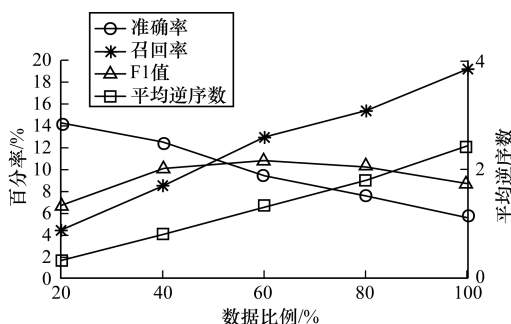


图 4 好友数据集分析结果

针对微博数据集,如图 5 所示,随着数据集数据量的增大,用户信任值传递分析的用户互动行为的准确率、召回率和 F1 值变化规律和好友数据集类似,但是平均逆序数的变化规律和好友数据集的变化不同,随着数据集增大,平均逆序数变化规律呈递减趋势。通过分析可知,由于用户信任传递分析的是用户互动行为,互动行为的排名随数据集的增大而变得与测试集的规律更相近,因此,平均逆序数会呈现递减的变化规律。

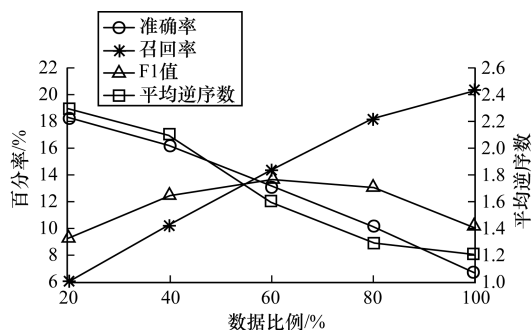


图 5 微博数据集分析结果

5 结束语

用户信任值是用户在社交网络中行为的重要影响因素,然而目前针对在线社交网络的研究,缺乏对用户信任及其传递规律的研究分析。为此,本文建立了在线社交网络的用户信任传递模型。首先通过分析用户信任值影响因素,量化用户信任值;然后根据链接关系,建立信任传递模型并进行评估分析。基于对微博数据的分析可知,信任传递模型能够准确描述好友之间的信任传递,对好友互动和好友建立具有较好的预测和推荐意义。

本文建立的信任值量化模型主要依据用户亲密度、互动行为和时间衰减因素,然而在实际在线社交网络中,信任值的影响因素可能不止这3种,未来将研究如何科学、合理地对用户信任值进行量化分析。同时,信任传递模型基于图搜索算法,当用户数量增大时,算法执行时间会迅速增长。因此,优化、改进信任传递算法也是下一步的研究方向。

参考文献

- [1] ELLISON N B. Social network sites: definition, history, and scholarship [J]. Journal of Computer-Mediated Communication, 2007, 13(1): 210-230.
- [2] CHEN J, GEYER W, DUGAN C, et al. Make new friends, but keep the old: recommending people on social networking sites [C]//Proceedings of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, USA: ACM Press, 2009: 201-210.
- [3] PAGE L, BRIN S, MOTWANI R, et al. The PageRank citation ranking: bringing order to the Web; SIDL-WP-1999-0120 [R]. Stanford InfoLab, 1999.
- [4] KLEINBERG J M. Authoritative sources in a hyperlinked environment [J]. Journal of the ACM, 1999, 46(5): 604-632.
- [5] GYÖNGYI Z, GARCIA-MOLINA H, PEDERSEN J. Combating Web spam with trustrank [C]//Proceedings of the 30th International Conference on Very Large Data Bases. [S. l.]: VLDB Endowment, 2004: 576-587.
- [6] ZHAO D, ROSSON M B. How and why people Twitter: the role that micro-blogging plays in informal communication at work [C]//Proceedings of ACM International Conference on Supporting Group Work. New York, USA: ACM Press, 2009: 243-252.
- [7] KRISHNAMURTHY B, GILL P, ARLITT M. A few chirps about Twitter [C]//Proceedings of the 1st Workshop on Online Social Networks. New York, USA: ACM Press, 2008: 19-24.
- [8] MEYFFRET S, MÉDINI L, LAFOREST F. Trust-based local and social recommendation [C]//Proceedings of the 4th ACM RecSys Workshop on Recommender Systems and the Social Web. New York, USA: ACM Press, 2012: 53-60.
- [9] O'DONOVAN J, SMYTH B. Trust in recommender systems [C]//Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent User Interfaces. New York, USA: ACM Press, 2005: 167-174.
- [10] ANDERSEN R, BORGS C, CHAYES J, et al. Trust-based recommendation systems: an axiomatic approach [C]//Proceedings of the 17th International Conference on World Wide Web. New York, USA: ACM Press, 2008: 199-208.
- [11] GUPTA M, ZHAO P, HAN J. Evaluating event credibility on Twitter [C]//Proceedings of Conference on Sustainable Design and Manufacturing. Berlin, Germany: Springer, 2012: 153-164.
- [12] MORRIS M R, COUNTS S, ROSEWAY A, et al. Tweeting is believing?: understanding microblog credibility perceptions [C]//Proceedings of ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work. New York, USA: ACM Press, 2012: 441-450.
- [13] CASTILLO C, MENDOZA M, POBLETE B. Information credibility on Twitter [C]//Proceedings of the 20th International Conference on World Wide Web. New York, USA: ACM Press, 2011: 675-684.
- [14] GUO L, ZHANG C, FANG Y. A trust-based privacy-preserving friend recommendation scheme for online social networks [J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2015, 12(4): 413-427.
- [15] WANG Y, YIN G, CAI Z, et al. A trust-based probabilistic recommendation model for social networks [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2015, 55: 59-67.
- [16] DE MEO P, FERRARA E, ROSACI D, et al. Trust and compactness in social network groups [J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2015, 45(2): 205-216.
- [17] 宋波伟, 伍伟丽. 基于信任社交圈的好友推荐算法 [J]. 计算机工程, 2017, 43(5): 149-155.
- [18] 王培人, 毛剑, 马寒军, 等. 基于用户信息的社交网络信任评估方法 [J]. 计算机应用研究, 2018, 35(2): 1-2.
- [19] 文俊浩, 何波, 胡远鹏. 基于社交网络用户信任度的混合推荐算法研究 [J]. 计算机科学, 2016, 43(1): 255-258.
- [20] 刘慧婷, 熊瑞瑞, 赵鹏. 基于信任关系重建和社交网络传递的推荐算法 [J]. 计算机工程, 2016, 42(1): 174-179.
- [21] HU Y, DENG B, WANG B, et al. Analyzing and predicting forwarding behaviors in Sina Weibo [C]//Proceedings of 2015 International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation. Berlin, Germany: Springer, 2016: 83-92.