

# 社交网络中基于信任评估的推荐控制模型

李美子<sup>1,2</sup>, 黄震华<sup>1</sup>, 向阳<sup>1</sup>, 杨力<sup>3</sup>

(1. 同济大学 电信学院, 上海 201804; 2. 上海师范大学 信息与机电工程学院, 上海 200234; 3. 南京大学 软件学院, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 针对社交网络中无法有效管理陌生推荐安全性难题, 提出了一种基于信任的评估推荐控制模型(TRCM). 该模型描述了社交网络推荐中个体角色、推荐路径、可信任值、控制规则等方面内容. 模型结合社交网络个体之间取信度、信誉度评估方法, 分别计算串路型、并路型和复合型3类推荐信任度, 并给出了客观偏移度和信心指数评估. 同时, TRCM定义了一组信任控制规则以管理社交网络中的推荐行为. 实验表明, 该方法是有可行性的.

**关键词:** 社交网络; 取信度; 信誉度; 推荐信任度; 信任推荐控制模型

**中图分类号:** TP393.4

**文献标志码:** A

## Trust Evaluation-based Recommendation Control Model in Social Network Site

LI Meizi<sup>1,2</sup>, HUANG Zhenhua<sup>1</sup>, XIANG Yang<sup>1</sup>, YANG Li<sup>3</sup>

(1. College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China; 3. Software Institute, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** For the sake of the security challenge to manage strange recommendations, a trusted recommendation control model (TRCM) for social network sites is established. TRCM describes four parts in social network site (SNS) recommendation formally including roles of individuals, recommendation routes, factors of trust and control rules. This model combines the belief among individuals and reputation to calculate three kinds of the recommended trust such as serial route recommendation, parallel route recommendation and overlapped route recommendation. Further, factors about the objective bias and confidence in TRCM are addressed to evaluate the reliability of the recommended trust computation. Meanwhile, TRCM defines a

set of trust control rules to manage the recommendation in SNS. Experiment results verify the efficiency and feasibility of the model.

**Key words:** social network site (SNS); belief; reputation; recommended trust; trusted recommendation control model

目前, 利用社交网络 (Social Network Site, SNS) 进行“信息推荐”已经成为人们获取和分享信息的重要手段之一<sup>[1-3]</sup>. 但是由于推荐信息大多源自陌生者, 接收者难以确保其安全性. 因此, 如何为用户提供一种度量推荐信息可靠性的手段, 是 SNS 信息安全分析的重要内容之一.

近年来, 信任计算研究被认为是一种有效的安全判定和度量方法, 已经被广泛应用<sup>[1-6]</sup>. 传统的信任计算主要基于过往交互历史数据或概率贝叶斯方法等, 计算得到个体之间主观信任度和个体自身客观信任度 (统称为直接信任度)<sup>[3,6]</sup>. 然而, 一旦缺乏直接交往历史数据, 则用户无法建立直接信任度并判定陌生推荐的可靠性. 推荐信任度则是直接信任度以外的另一种可靠性度量手段. 社交网络中的推荐信任度模型研究较多, 如基于信任的社会网络推荐模型<sup>[2]</sup>、基于可靠用户的信任推荐方法<sup>[7]</sup>, 以及基于实时内容的社区信息推荐方法等<sup>[8]</sup>. 王刚等<sup>[9]</sup>提出了社会网络中交易节点的选取及其信任关系计算方法; 田俊峰等<sup>[10]</sup>提出了一种兼顾传递衰减、时间衰减、路径权重等因素的信任链管理模型, 优化推荐信任; 乔秀全等<sup>[11]</sup>提出了一种 SNS 基于用户上下文的信任度计算方法, 实现熟悉性信任的计算. 但是传统方法较少将直接信任和客观信誉度进行综合计算得到推荐信任度. 另外, 推荐起点到终点之间路径组成

收稿日期: 2013-05-25

基金项目: 国家自然科学基金(61103069, 71171148, 61272268); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-12-0413); 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012BAD35B01)

第一作者: 李美子(1979—), 女, 博士生, 主要研究方向为社交网络分析, 可信计算等. E-mail: 6limeizi@tongji.edu.cn

通讯作者: 黄震华(1980—), 男, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为云数据管理和查询分析, 大数据建模和社交网络等. E-mail: huangzhenhua@tongji.edu.cn

的拓扑结构对信任的影响也很少得到重视.

本文研究提出结合 SNS 特征的取信度和信誉度的度量计算方法,给出符合推荐路径拓扑结构的信息推荐信任度计算方法、推荐的客观符合度,以及推荐的可选择程度,并给出 SNS 信任推荐控制模型,最后通过实验验证其正确性和可行性.

## 1 取信度和信誉度

### 1.1 SNS 个体的取信度计算

本文称主观信任为取信度,客观信任为信誉度.

**定义 1** 取信度是 SNS 中用户对另一用户建立在过往交互评价基础上的主观信任态度.

假设 SNS 中存在个体  $d_i$  和  $d_j$ ,  $d_j$  曾经与  $d_i$  进行过  $n_1$  次交互,交互行为类型为  $P_h$ ,且每次交互  $d_j$  产生了对  $d_i$  的评价  $e(d_j)$  ( $e(d_j) \in [0, 1]$ ), 设  $d_j$  曾经对  $d_i$  差评的次数为  $m_1$  次. 此时,  $d_j$  对  $d_i$  的取信度可以计算为

$$b(d_j, d_i) = \frac{\sum_{j=1}^{m_1} (w(P_h) e(d_j))}{n_1} \left( \frac{n_1 - m_1}{n_1} \right)^{\frac{1}{n_1 - m_1}} \quad (1)$$

式中:  $w(P_h)$  ( $w(P_h) \in [0, 1]$ ) 为交互行为类型  $P_h$  所占的权重.

### 1.2 SNS 个体的信誉度

本文中信誉度计算考虑两方面因素:一是个体所处社区全体对它的共同看法;二是个体所处社区数量.

**定义 2** 信誉度是 SNS 个体拥有的全局性可靠度,由个体所处社区全体成员给出有效评价得到.

另外,本文提出有效评价资质以避免恶意个体对其他个体进行信誉诋毁或信誉欺诈,其计算方式如下:

$$q(d_j) = \begin{cases} r(d_j)^{\frac{1}{|V_{d_j}|}} & r(d_j) \geq 0.5 \\ r(d_j)^{\frac{1}{|V_{d_j}|}} & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $r(d_j)$  为  $d_j$  的信誉度;  $|V_{d_j}|$  为  $d_j$  所属社区的数量.

规定若  $q(d_j) \geq \alpha$  ( $\alpha \in [0, 1]$ ),  $d_j$  做出的评价均为有效评价.

假设存在个体  $d_i \in V$ , 在 SNS 网络中存在于不同社区  $V_1, V_2, \dots, V_e$  中. 对于  $d_i$  而言,它曾经获得过  $g$  次来自区域  $V_1 \cup V_2 \cup \dots \cup V_e$  中其他个体  $d_j$  的有效评价  $e_{d_j}(d_i)_k$ , 那么该个体  $d_i$  的信誉度  $r(d_i)$  可以计算为

$$r(d_i) = \frac{1}{g} \sum_{k=1}^g [e_{d_j}(d_i)_k q(d_j)] \quad (3)$$

进一步,本文提出信誉强度因子参数用于表征个体信誉度的普遍认可程度. 该参数出于下面的考虑计算:①评价者在社区中所占比例. ②在信誉值计算中,若  $e_{d_j}(d_i)$  值在平均值附近波动较大,则方差较大,可视个体信誉分歧较大;反之则认为看法较一致. 因此,本文定义强度因子  $\vartheta$ , 表示信誉普遍认可程度. 假设个体  $d_i$  所在社区共有  $n$  个成员,其中有  $m$  个成员曾经给该个体  $d_i$  评价. 对于信誉  $r(d_i)$  的所有评价变量  $e_{d_j}(d_i)_k$ , 其方差记为  $D(d_i)$ , 则强度因子记为

$$\vartheta(d_i) = \frac{1}{2} \left[ \frac{m}{n} + 1 - D(d_i) \right] \quad (4)$$

## 2 基于路径的 SNS 推荐信任计算

### 2.1 SNS 推荐路径分类

为计算方便,本文推荐起点记为  $Z$ ; 推荐接收者记为  $R$ ; 推荐中间节点记为  $I_i$ .

**定义 3** 推荐信任度是指接收者依据不同推荐路径所形成的针对发起者的信任度. 主要分为如下 3 类:

(1) 单线型通路信任度(或称为串路信任度). 从  $Z$  到  $R$  之间存在一条推荐路径,且该路径中所有个体均只向一个个体推荐信息,即仅有  $\exists (Z \rightarrow I_0) \wedge \exists (I_0 \rightarrow I_1) \wedge \dots \wedge \exists (I_i \rightarrow R)$ , 该路径记为  $\Phi(R, Z)$ , 对应的信任度记为  $t_\Phi(R, Z)$ .

(2) 并线型通路信任度(或称为并路信任度). 从  $Z$  到  $R$  之间存在两条或两条以上的串路  $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n$ , 且任意两条串路之间不存在交叉点,该通路记为  $\Theta(R, Z)$ , 对应的信任度记为  $t_\Theta(R, Z)$ .

(3) 复合型通路(或称为复路). 从  $Z$  到  $R$  之间存在通路且通路存在交叉重叠情况. 整个复路记为  $\Delta(R, Z)$ , 对应的信任度记为  $t_\Delta(R, Z)$ .

### 2.2 串路推荐信任计算

本文定义串联通路  $\Phi(R, Z)$  遵循:①邻接信任传递规则,  $\Phi(R, Z)$  中每个节点仅依赖于邻接节点的取信度、信誉值计算对  $t$  的可靠性. ②信誉权重规则, 在串路  $\Phi(R, Z)$  中, 取信度受信誉度的权重影响. ③路径深度衰减规则, 推荐距离越远则接收者对发起者的可靠性值越低. 本文给出衰减因子为

$$\tilde{\omega} = (1/2)^{(1-\frac{1}{\alpha d(Z)})} \quad (5)$$

式中:  $d(Z)$  为  $Z$  到  $R$  的路径深度.

综合上述3条规则,单路推荐信任度递归计算式为

$$t_{\Phi}(R, Z) = [(b(R, I)r(I)^{\frac{1}{|V_{I_i}|}}) + (t_{\Phi}(I, Z)r(Z)^{\frac{1}{|V_R|}})] \frac{\tilde{\omega}}{2} \quad (6)$$

式中:  $|V_{I_i}|$  表示个体  $I_i$  所属社区的数量.

### 2.3 并路推荐信任度

在并线型通路情况下,接收用户可通过多个邻接节点收获到对同一对象的推荐.此时,该路径  $\Theta(R, Z)$  由若干条单线型通路  $\Theta_{\Phi_i}$  组成.对于接收者  $R$  来说,可视作同时接收到来自多个邻接节点  $I_i$  对  $Z$  的推荐( $I_i$  中  $i$  指明第  $i$  条单路  $\Theta_{\Phi_i}$ ).因此,可以先分别计算  $\Theta_{\Phi_i}$  的可靠性.

$$t_{\Theta_{\Phi_i}}(R, Z) = [(b(R, I_i)r(I_i)^{\frac{1}{|V_{I_i}|}}) + (t_{\Phi}(I_i, Z)r(Z)^{\frac{1}{|V_R|}})] \frac{\tilde{\omega}}{2} \quad (7)$$

进一步,假设  $Z$  和  $R$  之间存在数量为  $m_2$  ( $m_2 \geq 2$ ) 的独立推荐路径,而独立路径经过的 SNS 社区数量记为  $|V_{\Theta(R, Z)}|$ .那么,该并路推荐信任可以通过下列公式计算:

$$t_{\Theta}(R, Z) = \min \left[ \frac{\sum_{i=1}^{m_2} t_{\Theta_{\Phi_i}}(R, Z)}{m_2} + 0.1 \left( \frac{|V_{\Theta(R, Z)}|}{m_2 + 1} \right)^{\frac{1}{m_2 + 1}}, 1 \right] \quad (8)$$

### 2.4 复路推荐信任度

本文定义复合路径中存在2类推荐者:接合点  $j_{I_i}$  和分离点  $d_{I_i}$ .首先计算接合点之间并路推荐,使接合点之间的推荐被处理为串路信任;而后计算整个串路推荐信任值,得到最终的结果.

假设  $\Delta(R, Z)$  中  $j_{I_i}$  表示接合点,而  $d_{I_i}(j)$  表示在接合点  $j_{I_i}$  之后所出现的分离点,则  $\Delta(R, Z)$  中的接合点  $j_{I_i}$  和  $j_{I_{i-1}}$  之间的取信度可以通过下式进行计算:

$$b(j_{I_i}, j_{I_{i-1}}) = \begin{cases} b(j_{I_i}, j_{I_{i-1}}) & \text{两者之间不存在 } d_{I_i}(j) \\ t_{\Theta}(j_{I_i}, j_{I_{i-1}}) & \text{否则} \end{cases} \quad (9)$$

公式(9)使复路转化为由接合点所组成的串路推荐.此时推荐信任度通过下式计算:

$$t_{\Delta}(R, Z) = t_{\Phi}(R, Z) \quad (10)$$

### 2.5 推荐信任的客观偏移度与信心指数

本文引入欧氏距离方法来进行客观偏移度计算.假设推荐过程中每一个串路记为  $\Phi_i(R, Z)$ ,其获得的推荐信任值为  $t_{\Phi_i}(R, Z)$ ,则可得向量  $\Sigma =$

$[t_{\Phi_1}(R, Z), t_{\Phi_2}(R, Z), \dots]$ ;另一方面,利用被推荐者的信誉值生成一个信誉度向量  $N = [r(Z), \dots, r(Z), \dots]$ .那么,推荐信任的客观偏移度可以计算为

$$o(Z) = \sqrt{\sum_{i=1}^{|\Sigma|} (r(Z) - t_{\Phi_i}(R, Z))^2} \quad (11)$$

式中:  $|\Sigma|$  为向量  $\Sigma$  中元素的数量,且  $|\Sigma| = |N|$ ,  $|N|$  为向量  $N$  中元素的个数.显然,  $o(Z)$  值越小,说明推荐信任值与客观情况越相符.

同时,本文定义推荐信心指数,用以说明推荐本身是否值得信赖,即计算得到的信任值是否可靠,而非说明  $Z$  的可靠程度.假设某次推荐记为  $\Omega$ ,其中存在  $n_3$  个中间推荐者  $I_i$ ,且这些推荐者共来自  $|V_{I_i}|$  个 SNS 社区;推荐发起者信誉度强度因子为  $\vartheta(Z)$ .那么  $\Omega$  的信心指数可以通过下式计算:

$$c(\Omega) = r(Z)^{1-\vartheta(Z)} \left[ \frac{\sum_{I_i \in \Omega} r(I_i)}{n_3} \right]^{\frac{1}{|V_{I_i}|}} \quad (12)$$

## 3 信任推荐控制模型

**定义4** SNS 信任推荐控制模型形式化定义为五元组,即

$$\Omega = (R, Z, D, V, U, Q, L)$$

其中,  $R$  和  $Z$  分别为接收者和发起者;  $D = \{I_1, I_2, \dots\}$  为推荐中间者;  $V = \{V_1, V_2, \dots\}$  为推荐路径所经过的社区;  $U$  为推荐路径集合;  $Q$  为推荐信任度、客观偏移度和信心指数等值;  $L$  为推荐控制规则.

#### 算法1 TRCM 参数计算

Step1 计算  $R$  和  $Z$  之间推荐节点  $D$  的  $r(Z)$  或  $r(D)$ ,以及路径中相邻节点的取信度值.

Step2 若  $R$  和  $Z$  之间路径为串路,则依据公式(6)计算得到  $t_{\Phi}(R, Z)$ ;否则转 step3.

Step3 若  $R$  和  $Z$  之间路径为并路,则按照下列步骤计算,否则转 step4.

(i) 计算多条推荐路径中的串路,依据公式(6)计算得到  $t_{\Theta_{\Phi_i}}(R, Z)$ .

(ii) 依据公式(8)计算并路推荐信任度  $t_{\Theta}(R, Z)$ .

Step4 若路径为复路,则按照下列步骤计算:

(i) 依据公式(9)针对  $j_{I_i}$  之间的  $d_{I_i}$  计算  $b(j_{I_i}, j_{I_{i-1}})$ ,消除路径中的分离点.

(ii) 依据式(10)计算得到该路径的  $t_{\Delta}(R, Z)$ .

Step5 依据公式(11)和(12),计算  $\Omega$  中  $o(Z)$  和  $c(\Omega)$ ,算法结束.

下面给出 TRCM 中的推荐控制规则。

Rule 1 发起推荐规则. 推荐发起者向满足  $b(Z, I_i) \geq \lambda_1$  的邻居个体  $d_i$  发送推荐。

Rule 2 转发推荐规则. 接受到推荐的个体仅转发其接受的或满足  $c(\Omega) \geq \lambda_2$  的推荐。

Rule 3 发起屏蔽规则. 若个体发起推荐次数达到  $n_4$  且被接受比例低于  $\lambda_3$ , 则其所发起的推荐被屏蔽。

Rule 4 转发屏蔽规则. 若个体转发推荐达到  $n_5$  且被接受比例低于  $\lambda_4$ , 则其所转发的推荐被屏蔽。

Rule 5 路径取信规则. 所有接受个体可以从推荐路径中选择推荐邻居  $I_i$ , 满足  $b(R, I_i) \geq \lambda_5$  的路径, 并忽视其他推荐路径而计算推荐信任值。

Rule 6 接受推荐规则. 接受者仅接受满足  $(t(R, Z) \geq \eta) \wedge (b(Z) \geq \mu) \wedge (c(\Omega) \geq \gamma)$  的推荐。

上述规则中,  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \eta, \mu, \gamma$  均为阈值。

## 4 实验与分析

本实验构建了一个微博原型系统, 包括 123 个用户和 5 个社区, 具有 741 组点对点关系。假定所有非恶意行为和恶意行为的  $w(P_b)$  值分别为 1.0 和 0.5。用户的初始信誉度为 0.6~0.8 的随机分布。 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_5$  的取值均为 0.7;  $\lambda_3, \lambda_4$  取值为 20%;  $\eta, \mu, \gamma$  取值分别为 0.80, 0.55 和 0.85。

### 4.1 SNS 中的取信度和信誉度计算验证

(1) 取信度测试验证. 在系统中首先分别假定 15% 和 30% 的用户为恶意用户, 所发布的行为均为恶意或虚假信息。分别采用 3 组方法进行对比: Group1 采用 EigenRep 模型<sup>[12]</sup> 方法计算用户间取信度; Group2 采用平均法计算用户间取信度; Group3 采用本文方法计算。记录了约 6 000 次交互后, 系统中恶意节点发现的准确率(取信度低于 0.3 时被认为是恶意节点被发现)。从图 1a, 1b 中可以看出, 本文方法较前两种方法效果更好, 准确率分别约为 94% 和 91%。另外, 非恶意用户被误判导致准确率下降 2%。

(2) 置信度测试. 设定 15% 和 30% 用户为恶意, 分别采用了 3 组信誉度计算方法: Group4 采用了所有评价的平均值方法计算信誉度; Group5 采用加权平均法; Group6 则采用本文给出的信誉度计算方法。相比于单一使用信誉度作为权重方法, 本文方法加入了评价资格因素, 使拥有多个社区身份的用户具有更强的评价效果。如图 2a, 2b 所示, 本文方法恶

意用户识别的准确率分别达到了 98.7% 和 96.7%, 优于其他两组结果。

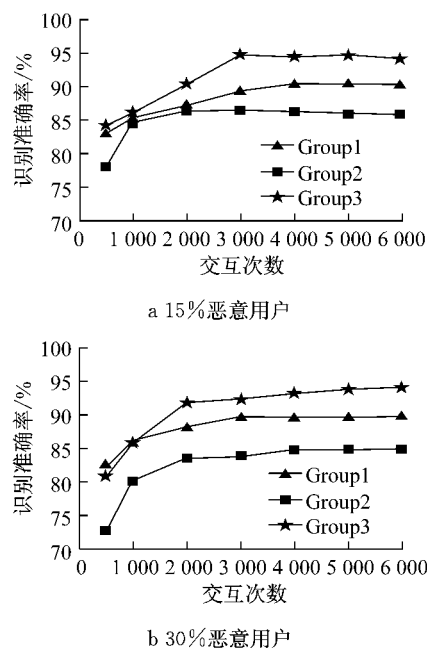


图1 取信度计算实验效果

Fig.1 The trust degree of computing experiment results

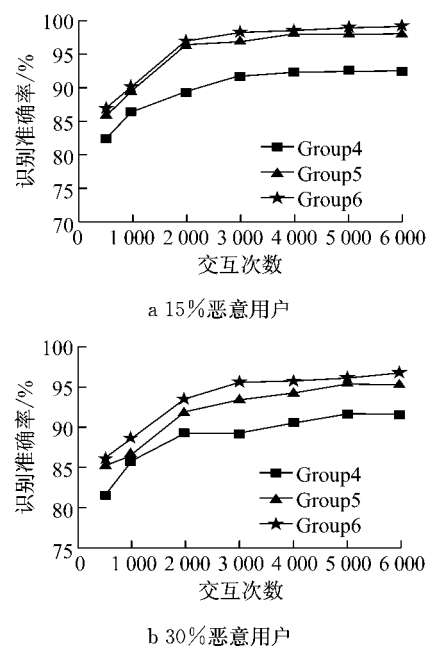


图2 信誉度计算实验效果

Fig.2 Credibility effect experiment

### 4.2 信任评估有效性验证

(1) 推荐深度测试. 本实验中不存在恶意用户, 并规定推荐信任值大于 0.75 时推荐必须被接受且转发。实验分为 3 组: Group7 利用 EigenRep 方法计算取信度; Group8 利用本文中取信度以及信誉度计算方法, 推荐信任值计算则将推荐者的信誉度乘以

两者之间的取信度,然后通过算术平均法求值; Group9 则采用本文所给出的方法进行推荐信任值计算.实验进行了 100 次信息传播并记录信息传播平均深度.从图 3a 中可以看出,利用 TRCM 中的推荐信任度计算方法,推荐的路径深度要优于其他两种方法.

(2)参数分析.本实验中存在恶意用户进行虚假推荐且其信誉度均低于 0.3.定义非恶意推荐为满足条件( $t(R,Z) \geq \eta$ )  $\wedge$  ( $o(Z) \geq \mu$ )  $\wedge$  ( $c(\Omega) \geq \gamma$ ).实验中阈值设置为:Group10 中  $\eta, \mu$  和  $\gamma$  分别为 0.70,0.60 和 0.80;Group11 中为 0.80,0.55 和 0.85;Group12 中为 0.85,0.50 和 0.90.由图 3b 可见,TRCM 可以很好地辅助用户识别来自恶意节点的推荐.

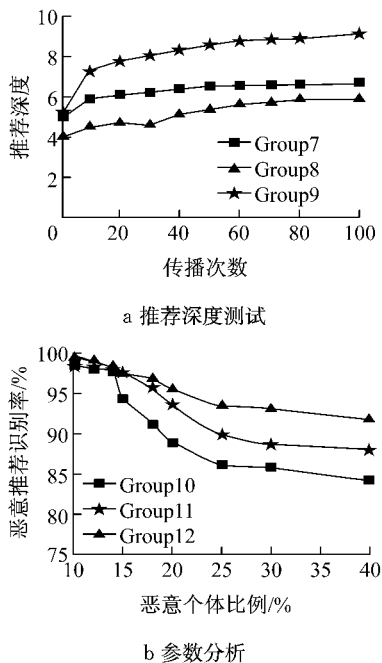


图3 推荐信任度计算实验效果

Fig.3 Recommend trust computing experiment results

(3)路径组成及社区数量对推荐信任的影响分析.首先分析路径因素对推荐产生的影响.假设不存在恶意用户,并规定信任值大于 0.75 时推荐必须被接受且转发. Group13 中采取单路推荐的方法; Group14 中采取 3 条独立路径推荐方法; Group15 中采取重叠多路推荐方法.如图 4a 所示,100 次推荐后单路推荐效果明显低于后两种路径推荐效果,且推荐路径越多则推荐效果越好.其次,分析推荐路径经过不同数量社区时的路径深度. Group16 采用单路推荐, Group17 采用 3 条路径独立推荐; Group18 则采用重叠多路推荐.从图 4b 中看出,社区数量越多则推荐平均路径深度增加,说明推荐获更多认可且效果更佳.

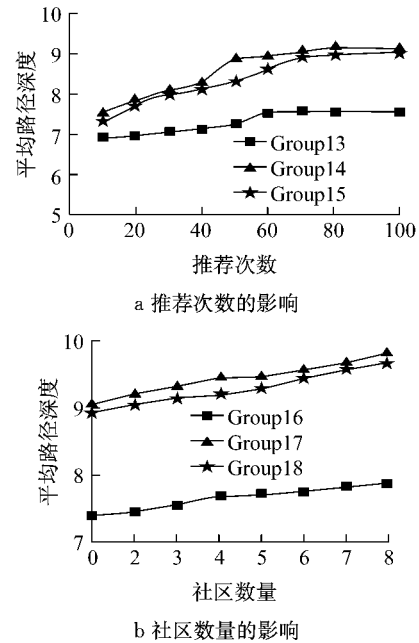


图4 路径组成及社区数量对推荐信任的影响

Fig.4 Path number and community influence on recommendation trust

#### 4.3 推荐控制有效性验证

本实验旨在验证 TRCM 中控制策略的有效性.实验设置了 2 组实验: Group19 中,个体间取信度大于 0.7 时,推荐被转发并接受; Group20 则采用 TRCM 的控制策略.经过 100 次推荐测试,分别记录了在 30% 的恶意推荐和 50% 恶意推荐情况下获得的路径平均深度.从图 5 中可以看到,TRCM 的推荐控制规则能够有效降低恶意推荐的传播深度.

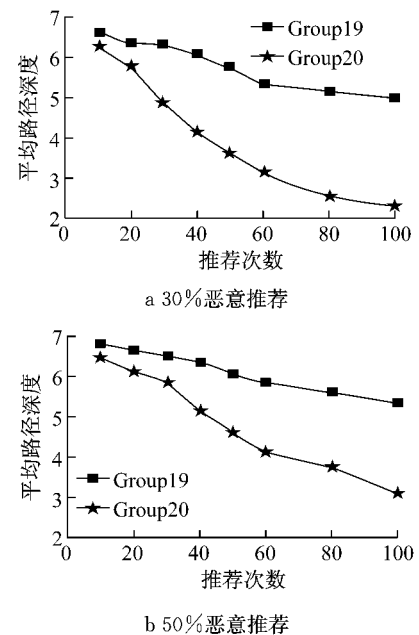


图5 推荐控制有效性验证

Fig.5 Recommended control validation

## 5 结语

提出一种基于信任的推荐控制模型(TRCM),其意义在于为社交网络中用户提供一种判定陌生来源推荐可信程度的有效手段.除信任度计算外,TRCM可为用户提供对信任度计算本身是否可靠的度量方法(即客观偏移度和信心指数),从而使用户能够具有多层次的信任保障.为社交网络系统内部提供一系列管理推荐行为的规则和可靠性评估方法,促使系统内部具备严格可靠的方法保障推荐的可靠性.

### 参考文献:

- [1] Fogel J, Nehmad E. Internet social network communities: Risk taking, trust, and privacy concerns [J]. *Computers in Human Behavior*, 2009, 25(1): 53.
- [2] Walter F E, Battiston S, Schweitzer F. A model of a trust-based recommendation system on a social network [J]. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2008, 16(1): 57.
- [3] Kim Youngae, Phalak Rasik. A trust prediction framework in rating-based experience sharing social networks without a Web of Trust [J]. *Information Sciences*, 2012, 191(5): 128.
- [4] Westerman D, Spence R P, Van Der Heide B. A social network as information: the effect of system generated reports of connectedness on credibility on Twitter [J]. *Computers in Human Behavior*, 2012, 28: 199.
- [5] Castelfranchi C, Falcone R, Marzo F. Being trusted in a social network: Trust as relational capital[C]//Trust Management. Heidelberg: Springer, 2006:19-32.
- [6] Jøsanga A, Ismailb R, Boydb C. A survey of trust and reputation systems for online service provision [J]. *Decision Support Systems*, 2007, 43(2): 618.
- [7] De Meo Pasquale, Antonino N, Domenico R, *et al.* Recommendation of reliable users, social networks and high-quality resources in a social internetworking system [J]. *AI Communications*, 2011, 21(1): 31.
- [8] LI Dongsheng, LÜ Qin, XIE Xing, *et al.* Interest-based real-time content recommendation in online social communities [J]. *Knowledge-based Systems*, 2012, 28: 1.
- [9] 王刚, 桂小林. 社交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.  
WANG Gang, GUI Xiaolin. Selecting and trust computing for transaction nodes in online social networks[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2013, 36(2): 368.
- [10] 田俊峰, 鲁玉臻, 李 宁. 基于推荐的信任链管理模型[J]. *通信学报*, 2011, 32(10): 1.  
TIAN Junfeng, LU Yuzhen, LI Ning. Trust chain management model based on recommendation [J]. *Journal of Communications*, 2011, 32(10): 1.
- [11] 乔秀全, 杨春, 李晓峰, 等. 社交网络服务中一种基于用户上下文的信任度计算方法[J]. *计算机学报*, 2011, 34(12): 2403.  
QIAO Xiuquan, YANG Chun, LI Xiaofeng, *et al.* A trust calculating algorithm based on social networking service users' context[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2011, 34(12): 2403.
- [12] Kamvar S D, Schlosser M T. The eigentrust algorithm for reputation management in P2P networks[C]//Proceedings of the 12th International conference on World Wide Web. Budapest: ACM Press, 2003:640-651.