

基于节点态度的社交网络信息传播模型

黄宏程^{1,2}, 孙欣然¹, 胡敏¹

(1.重庆邮电大学 通信与信息工程学院, 重庆 400065; 2.重庆大学 计算机学院, 重庆 400044)

摘要:为了揭示信息在社交网络中传播的内在规律,对社交网络的信息传播过程进行深入研究,社交网络的信息传播过程除了受信息本身的吸引力和社交环境的影响,同时受节点对消息的态度的影响。然而,现有信息传播模型对节点态度考虑不足,不能体现节点态度的差异对信息传播所产生影响。本文结合传染病模型并考虑节点态度,提出了一种基于节点态度的社交网络信息传播模型,旨在分析节点态度对信息传播的影响,为研究社交网络的信息传播机理提供理论依据。首先,考虑到不同节点的态度及其变化规则的差异,从个体角度出发,基于节点行为定义了节点态度及其更新原则。其次,在传统传染病动力学SIRS模型基础上,结合信息传播与传染病感染扩散类似的传播机理,综合考虑节点态度对信息传播状态转移的影响,利用社会学习理论得到一种基于节点态度的社交网络传播模型。该模型能够分析节点态度对信息传播的影响,给出传播规则,并刻画信息传播的演化规律。最后,采用新浪微博的真实数据对本文的传播模型进行了仿真实验,仿真结果验证了节点态度影响着信息的传播,证明了本文所提模型能够更准确地描述信息传播规律,反映社交网络的信息传播过程。

关键词:社交网络;信息传播模型;SIRS;节点态度

中图分类号:TP393.08

文献标志码:A

文章编号:2096-3246(2018)01-0113-07

An Information Diffusion Model of Social Network Based on Node Attitude

HUANG Hongcheng^{1,2}, SUN Xinran¹, HU Min¹

(1.School of Communication and Info. Eng.,Chongqing Univ. of Posts and Telecommunications,Chongqing 400065,China;

2.College of Computer Sci.,Chongqing Univ.,Chongqing 400044,China)

Abstract: In order to reveal the inherent laws of information diffusion in social network,the process of information diffusion in social network was studied in-depth.It was found that the process of information diffusion in social network was not only influenced by the attraction of information and social environment,but also influenced by the attitude of nodes to information.However,the existing information diffusion models rarely considered the attitude of the nodes,and thus could not reflect the impact of different attitudes of the nodes on the process of information diffusion.Therefore,a node attitude-based information diffusion model was proposed in social network,which combined the node attitude and SIRS model to analyze the influence of node attitude on information diffusion.It also provided the theoretical basis for the study of information diffusion mechanism in social network.In particular,considering the differences in the attitude of different nodes and their change rules,the node attitudes of nodes and their updating principles were respectively defined based on the node behavior.Furthermore,combining the information diffusion and the SIRS model-based infection spread mechanism as well as the impact of node attitude on diffusion state transition,an information diffusion model in social network based on node attitude were obtained by exploiting the social learning theory.The model could describe the diffusion rules,reveal the evolution law of information diffusion and analyze the influence of node attitude on information diffusion.At last,datasets from Sina micro-blog were used as the experimental data in the simulation.The simulation results showed that the attitude of node affected the information diffusion.Meanwhile,it was also demonstrated that the proposed model was more accurate in revealing the information diffusion law and reflecting the process of information diffusion.

收稿日期:2017-02-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61371097;61401051);重庆市科委基础与前沿研究计划资助项目(cstc2014jcyjA40039)

作者简介:黄宏程(1979—),男,副教授,博士。研究方向:复杂网络与信息传播理论、社会感知与智能计算。E-mail: huanghc@cqupt.edu.cn

网络出版时间:2018-01-18 20:26:01

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1773.TB.20180118.2025.007.html>

<http://jsuese.ijournals.cn>

<http://jsuese.scu.edu.cn>

Key words: social network; information diffusion model; SIRS; node attitude

伴随着移动互联网的发展而迅猛发展的社交网络 (social network) 已经成为了人们获取与传播信息的重要途径, 广泛且深刻地影响着人们的社交方式、个人生活、乃至经济运行和社会舆论传播的方方面面。社交网络信息传播的研究在广告投放、事件营销、社会舆论监控和引导、影响力量化、网络通信等方面都有着极为重要的应用价值^[1-4]。因此, 近年来, 社交网络信息传播的研究引起了国内外学者的广泛关注, 人们试图理解、预测并利用社交网络的信息传播规律。

国内外学者对社交网络中的信息传播进行了大量的研究, 由于其与医学中传染病传播的模式相似, 因此, 研究者以传染病模型为基础建立社交网络信息传播模型, 主要有易感 (susceptible-infected, SI) 模型^[5]、易感感染 (susceptible-infected-susceptible, SIS) 模型^[6]、易感感染免疫 (susceptible-infected-recovered, SIR) 模型^[7]等, 这些模型不考虑信息传播参与者的环境因素而具有较大的局限性。之后的研究者们进一步考虑了社会环境及心理因素对信息传播的影响。例如, Zheng等^[8]将网络中的节点细分为4种状态, 并分析了邻居节点对个体行为的影响。王超等^[9]分析了社交网络用户的行为特征并引入信息传播潜伏期的概念建立基于易感潜伏感染免疫 (susceptible-exposed-infected-resistant, SEIR) 模型的社交网络信息传播模型。王金龙等^[10]考虑消息传播节点之间的相互影响力对信息传播的作用。Xu等^[11]考虑节点的转移概率是一个变量建立新的传播模型, 并根据平衡场方程研究了社交网络中的非线性现象。蒙在桥等^[12]动态设置节点权威性 & 免疫力, 并考虑了接收增强信号效应和外部社会加强效果。张亚明等^[13]考虑了消息传播者的兴趣衰减和社会强化机制。这些研究考虑了网络拓扑及节点状态的影响, 但并未考虑节点态度的差异即节点倾向传播消息的不同程度对消息传播过程的影响。尽管一些研究, 如 Zan等^[14]考虑了信息传播节点中有支持或反对的态度对信息传播的影响, 但存在简单处理个体态度的问题, 并未考虑社交网络中个体之间的差异性和个体态度自身变化对信息传播过程的影响, 其模型与实际的信息传播过程存在较大偏差。

社交网络是社会成员之间因为相互关系和影响而形成的网络, 信息的传播过程受多种因素影响, 不仅受信息本身的吸引力和社交环境的影响, 同时受用户对消息的态度影响。用户由于背景、兴趣等的差异, 对同一信息可能存在不同程度的态度, 即节点倾向于传播消息的程度不同。态度越积极的用户, 就越

积极参与到信息传播中, 促进信息的正面传播; 态度越消极, 就越可能抵制该信息的正面传播, 促进信息的负面传播。此外, 随着时间的推移, 网络中的每个用户对某条信息的初始态度会受到邻居节点的态度等环境因素的影响而动态改变, 显著地影响信息传播的过程。显然, 节点态度及其变化是研究信息传播模型不应忽略的因素。

针对以上问题, 本文根据社会学习理论, 考虑社交网络中节点态度及态度更新对信息传播过程的影响, 在 SIRS (susceptible-infected-recovered-susceptible) 信息传播模型的基础上, 建立基于节点态度的信息传播模型。提出的模型给出了节点态度的量化方法和更新规则, 构建了基于节点态度及态度随时间更新的信息传播模型, 可以更好地刻画社交网络的信息传播过程, 体现了个体态度及态度变化对信息传播的影响。

1 基于节点态度的信息传播模型

1.1 节点态度

社交网络的用户对各类消息都有自己的态度, 即倾向传播消息的积极或消极程度。在信息传播过程中, 用户的态度很大程度上影响个体的行为及决策。社会学习 (social learning) 的研究发现, 在某消息发布后, 每个个体会根据自己的背景、兴趣等因素, 对消息产生一个初始的态度, 并且在与其他个体之间的交流互动中调整自己的态度^[15-16]。

社会学习的研究方法主要有贝叶斯社会学习与非贝叶斯社会学习两类。贝叶斯社会学习方法要求个体获取全局状态并观察其他人的行为进行推测, 需要对个体进行严格的要求, 并不适合传播方式复杂的社交网络。非贝叶斯社会学习方法则是个体通过模仿、复制、经验相似性等原则进行经验推断的学习方法, 能够更好地描述个体的行为。非贝叶斯方法为局部更新机制, 仅需要少量的个体信息, 因此, 本文采用非贝叶斯社会学习方法描述态度的更新原则。

本文将网络中的个体抽象为节点, 个体之间的关系抽象为连边。设网络中的节点 j 在 $t+1$ 时刻向节点 i 传播消息, 并且节点 i 和 j 在前一时刻的态度值分别为 μ_i^t 和 μ_j^t , 此时, 根据非贝叶斯社会学习模型节点 i 的态度更新为:

$$\mu_{i,t+1}^i = \mu_i^t + (\mu_j^t - \mu_i^t) \zeta(i, j) \quad (1)$$

式中, $\zeta(i, j) \in [0, 1]$ 表示节点 i 的态度向节点 j 的收敛参数, 即 i 在 j 态度的影响下, 节点 i 的态度变化率。

若在 $t+1$ 时刻有 m 个节点 j_1, j_2, \dots, j_m 向节点 i 传播消息, 并且在 t 时刻的态度值为 $\mu_t^{j_1}, \mu_t^{j_2}, \dots, \mu_t^{j_m}$, 此时节点 i 的态度值更新为:

$$\mu_{t+1}^i = \mu_t^i + \frac{1}{m} \sum_m (\mu_t^{j_m} - \mu_t^i) \zeta(i, j_m) \quad (2)$$

图1为网络中节点的态度更新示意。

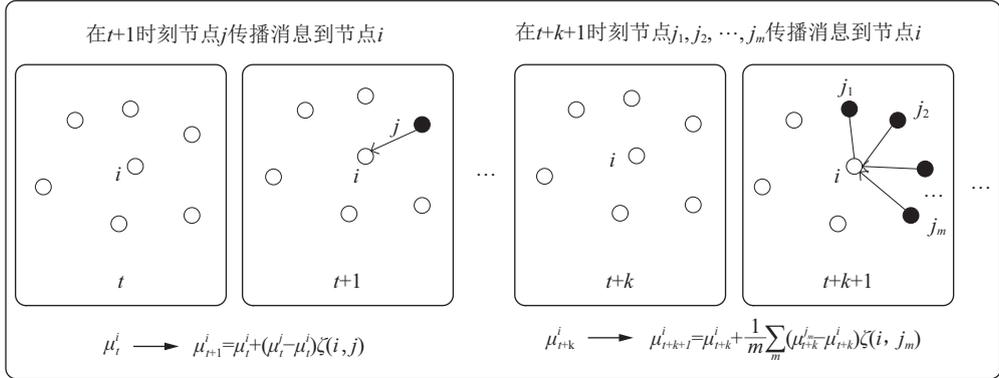


图 1 节点的态度更新示意

Fig.1 Updating schemes of node attitudes

图1中, 仅给出了传播消息节点的传播方向, 描述了在信息传播过程中, 节点接收到一个或多个节点传来的消息时, 节点态度的变化规则。由图1可以看出态度更新的特征为: 1) ζ 越大, 节点态度变化越大, 节点态度越靠近传播节点态度。2) 由于邻居态度的不同, 节点态度在传播过程中可能会发生动态变化, 如果传播消息的邻居态度 $\mu \in (0, 1)$, 则会加强节点的积极态度; 如果传播消息的邻居态度 $\mu \in (-1, 0)$, 则会减弱节点的积极态度。

1.2 传播规则描述

根据社交网络中的信息传播特征及传染病传播模型中的SIRS模型, 将网络中的节点状态分为接收到消息后可能进行消息传播的易传播状态S(susceptible)、进行信息传播的传播状态I(infected)、不进行消息传播但有可能转变为易传播状态的免疫状态R(recovered)。在信息传播过程中, 节点态度在每一时间步中不断更新, 各状态之间的转移概率也随之动态变化。本文在 $[-1, 1]$ 的尺度上对节点态度进行量化, 构建基于节点态度的信息传播模型, 如图2所示。

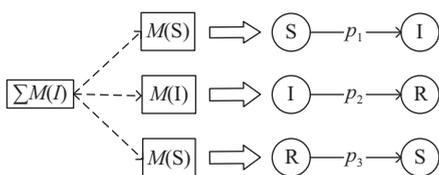


图 2 信息传播规则

Fig.2 Information spreading rules

该模型的具体传播规则如下:

1) 网络中只有传播节点的态度会影响其他节点态度 ($M(\cdot)$ 代表各状态的态度); 节点无论处于任一

状态, 均可收到一个或多个传播节点传播过来的消息, 在接收到传播节点发出的消息后, 节点依据态度更新原则更新自身的态度。

2) 若节点为易传播节点, 则接收到传播节点发出的消息后, 该易传播节点更新自身态度值, 并以概率 p_1 转变为传播节点。

3) 若节点为传播节点, 则接收到其他传播节点发出的消息后, 该传播节点更新自身态度值, 并综合自身周围的免疫节点, 以概率 p_2 转变为免疫节点。当该传播节点的邻居节点中无传播节点和免疫节点时, 传播节点则根据自身态度转变为免疫节点。

4) 免疫节点也并非一直保持免疫状态, 可能转变为易传播节点。若免疫节点接收到传播节点发出的消息, 则免疫节点更新自身态度值, 并以概率 p_3 转变为易传播节点。由于受免疫节点自身的阻碍, 因此, 仅当 p_3 的数值大于阈值 τ 时, 免疫节点才会启动转变。

1.3 节点各状态转移概率

在信息传播过程中, 网络节点在S、I和R这3种状态之间转移。

1) 假设节点 i 在 t 时刻处于易传播状态, 态度值为 μ_t^i , p_{SS}^i 表示节点 i 在 $t+1$ 时刻保持易传播状态的概率, p_{SI}^i 表示节点 i 从易传播状态转移到传播状态的概率, 且 $p_{SS}^i + p_{SI}^i = 1$ 。

若传播节点 i_1 在 $t+1$ 时刻传播消息到节点 i , 此时节点 i 从易传播状态转移为传播状态的概率为:

$$p_{SI}^i = \mu_{t+1}^{i_1} + (1 - \mu_{t+1}^{i_1}) \alpha \quad (3)$$

式中: $\mu_{t+1}^{i_1}$ 代表在 $t+1$ 时刻节点 i 在传播节点 i_1 作用下的态度值; α 为易传播状态向传播状态转移的非自主因素, 如信息自身吸引力、环境影响等; $(1 - \mu_{t+1}^{i_1}) \alpha$ 代表

非自主因素在转移概率中所占的比例。此时,节点*i*保持易传播状态的概率为 $1 - p_1^i = 1 - [\mu_{t+1}^i + (1 - \mu_{t+1}^i)\alpha]$ 。

若在*t*+1时刻存在*m*个传播节点向节点*i*传播消息,则节点*i*保持传播状态的概率如下:

$$p_{SS}^i = (1 - p_1^i)(1 - p_2^i) \cdots (1 - p_m^i) = \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} (1 - p_1^i) = \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} \{1 - [\mu_{t+1}^i + (1 - \mu_{t+1}^i)\alpha]\} = \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} \{1 - [\mu_t^i + (\mu_t^i - \mu_{t+1}^i)\zeta(i, i_m^i)](1 - \alpha) + \alpha\} \quad (4)$$

式中, $\Gamma_m^i(i) = \{i_1^i, i_2^i, \dots, i_m^i\}$ 表示向节点*i*传播信息的传播节点集合。

因此,节点*i*从易传播状态转移到传播状态的概率表示如下:

$$p_{SI}^i = 1 - p_{SS}^i = 1 - \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} \{1 - [\mu_t^i + (\mu_t^i - \mu_{t+1}^i)\zeta(i, i_m^i)](1 - \alpha) + \alpha\} \quad (5)$$

在态度更新过程中,节点的态度可能会转变为消极态度,此时节点不仅会负面传播该消息,也会影响邻居使其对该消息正面传播的积极性降低。因此,节点态度越消极,就越可能抑制邻居消息的正面传播,并且促进消息的负面传播。在计算节点转移概率时,态度值取其绝对值作为负面传播消息的概率。

综上,节点从易传播状态转移到传播状态的概率为:

$$p_{SI}^i = 1 - p_{SS}^i = 1 - \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} \{1 - [\mu_t^i + (\mu_t^i - \mu_{t+1}^i)\zeta(i, i_m^i)](1 - \alpha) + \alpha\} \quad (6)$$

2)假设节点*i*在*t*时刻处于传播状态, p_{II}^i 表示节点*i*在*t*+1时刻保持传播状态的概率, p_{IR}^i 表示节点*i*从传播状态转移到免疫状态的概率,且 $p_{II}^i + p_{IR}^i = 1$ 。

若传播节点 i_m^i 在*t*+1时刻传播消息到节点*i*,则节点*i*此时从传播状态转移到免疫状态的概率为:

$$p_2^i = (1 - \mu_{t+1}^i) + \mu_{t+1}^i \beta \quad (7)$$

式中, β 为传播状态向免疫状态转移的非自主因素, $\mu_{t+1}^i \beta$ 代表非自主因素在转移概率中所占的比例。此时,节点*i*保持传播状态的概率为 $1 - p_2^i = 1 - [(1 - \mu_{t+1}^i) + \mu_{t+1}^i \beta]$ 。

若节点*i*在*t*+1时刻遇到免疫节点,节点*i*以概率 β 转移为免疫状态,此时节点*i*保持传播状态的概率为 $1 - \beta$ 。

综上,若在*t*+1时刻存在*m*个传播节点向节点*i*传播消息,并且节点*i*遇到*n*个免疫节点,则节点*i*此时保持传播状态的概率如下:

$$p_{II}^i = (1 - p_2^i)(1 - p_2^i) \cdots (1 - p_2^i) \cdot \underbrace{(1 - \beta) \cdots (1 - \beta)}_n = \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} (1 - p_2^i) \cdot (1 - \beta)^n = \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} \{1 - [(1 - \mu_{t+1}^i) + \mu_{t+1}^i \beta]\} \cdot (1 - \beta)^n = \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} (1 - \beta)(\mu_t^i + (\mu_t^i - \mu_{t+1}^i)\zeta(i, i_m^i)) \cdot (1 - \beta)^n = \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} (\mu_t^i + (\mu_t^i - \mu_{t+1}^i)\zeta(i, i_m^i)) \cdot (1 - \beta)^{n+m} \quad (8)$$

考虑节点态度的消极性,则

$$p_{IR}^i = 1 - p_{II}^i = 1 - \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} [\mu_t^i + (\mu_t^i - \mu_{t+1}^i)\zeta(i, i_m^i)] \cdot (1 - \beta)^{n+m} \quad (9)$$

另外,当无传播节点向节点*i*传播消息,并且节点未遇到免疫节点时,传播节点*i*不会一直传播,会以自身态度值转移为免疫状态,转移概率为 $p_{IR}^i = (1 - \mu_t^i) + \mu_t^i \beta$ 。

3)同理,若节点*i*在*t*时刻为免疫状态, p_{RR}^i 表示节点*i*在*t*+1时刻保持免疫状态的概率, p_{RS}^i 表示节点*i*从免疫状态转移到易传播状态的概率, γ 为免疫状态向易传播状态转移概率中的非自主因素。节点*i*在*t*+1时刻从免疫状态转移到易传播状态的概率为:

$$p_3^i = \mu_{t+1}^i + (1 - \mu_{t+1}^i)\gamma \quad (10)$$

若在*t*+1时刻存在*m*个传播节点向节点*i*传播消息,并考虑节点态度的消极性,则:

$$p_{RS}^i = 1 - p_{RR}^i = 1 - \prod_{i_m \in \Gamma_m^i(i)} \{1 - [\mu_t^i + (\mu_t^i - \mu_{t+1}^i)\zeta(i, i_m^i)](1 - \gamma) + \gamma\} \quad (11)$$

考虑到节点从免疫状态转移到易传播状态时,会受到节点自身因素的阻碍(阈值 τ 表示),如同一节点拒绝多次传播同类消息等。因此,当转移概率 $p_{RS}^i \geq \tau$ 时,节点才会以概率 p_{RS}^i 从免疫状态转移到易传播状态。

以上构成了社交网络信息传播的规则和各状态之间的转移规律,能够反映在每个时间步节点态度的更新及其对各状态转移概率的影响,可以反映状态转移概率的动态变化。

2 模型实验及结果分析

为验证上述模型,本文采用在线社交网络新浪微博数据作为实验数据集,该数据集中节点总数为50 105,边数为253 404,平均度5.057,平均聚类系数为0.106。本文将从3个方面评估本文所提模型的效果。一是,信息传播过程分析,研究本文所提模型中S、I、R这

3类节点变化以及阈值、态度变化率对信息传播的影响;二是,信息传播与态度变化分析,即对传播过程与节点态度的相互影响进行分析;三是,信息传播拟合实验,验证其与真实传播过程的拟合程度。

2.1 信息传播过程分析

初始状态设置网络中存在1个传播节点,其余均为易传播节点,模型参数为 $\alpha=0.3, \beta=0.1, \gamma=0.01, \zeta=0.5, \tau=0.9$,分析社交网络中易传播节点、传播节点和免疫节点3类节点数量随时间的变化趋势,结果如图3所示。

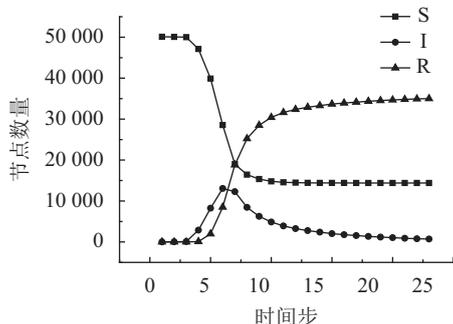


图3 考虑节点态度的信息传播模型

Fig.3 Information diffusion model considering node attitude

由图3可以看出:初始时免疫节点数量为零,随着传播节点开始传播消息,易传播节点开始快速减少,传播节点随之迅速增加。随着消息的不断传播,传播节点开始转变为免疫节点,免疫节点数量也快速增多,传播节点数量达到一个峰值后开始减少,部分免疫节点转变为易传播节点,最后免疫节点与易传播节点数量达到稳定状态,传播节点消失,信息传播过程结束。

传播节点能够反映信息在网络中传播的产生、发展和消亡的过程,因此本文利用传播节点数量研究各参数对传播的影响。免疫节点的状态转移阈值能反映免疫节点转变为易传播节点的难易程度,设置免疫节点的状态转移阈值 τ 分别为0.1、0.5、0.9。仿真结果如图4所示。

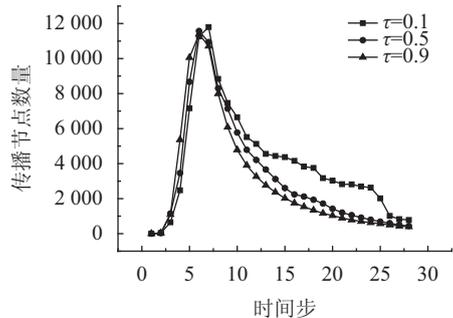


图4 免疫节点状态转移阈值对传播的影响

Fig.4 Influence of recovered node state transition threshold on diffusion

由图4可以看出:随着网络中信息的传播,传播节点的数量快速增加,达到峰值后快速下降,最后逐渐趋近于0。并且,阈值 τ 越大,传播节点数量在达到最大值后减少的速度越快,传播过程越早结束。

本文所提出的模型引入节点态度反映不同节点对传播消息的倾向程度, ζ 反映了节点在信息传播过程中态度的变化率,当 ζ 分别选取0.1、0.5、0.9时,传播节点数量随时间变化的趋势如图5所示。

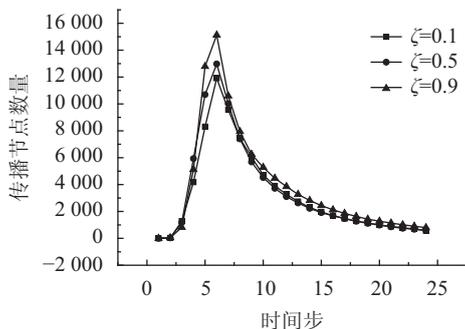


图5 态度变化率对传播的影响

Fig.5 Influence of attitude change rate on diffusion

由图5可以看出:节点态度变化率 ζ 对信息传播有着明显的影响。当 ζ 逐渐增大时,传播节点达到峰值的速度越快。因此,参数 ζ 越大,信息的传播能力越强。而随着 ζ 的增大,传播节点数量增加的比例不一,这是由于网络中存在积极和消极态度,不同的态度分布会在不同程度上影响信息的传播。

2.2 信息传播与态度变化分析

社交网络中节点存在积极态度与消极态度,不同程度的态度对信息传播有着不同的影响,同时,信息的传播也影响着节点的态度变化。为研究节点态度与信息传播的相互影响,设置模型参数 $\alpha=0.3, \beta=0.1, \gamma=0.01, \zeta=0.5, \tau=0.9$,网络中节点的初始态度分别处于 $[-0.5, 0.5]$ 、 $[0, 0.5]$,实验结果如图6所示。

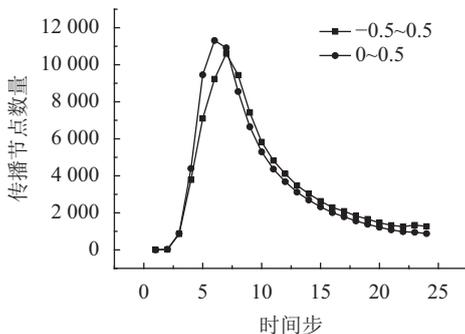


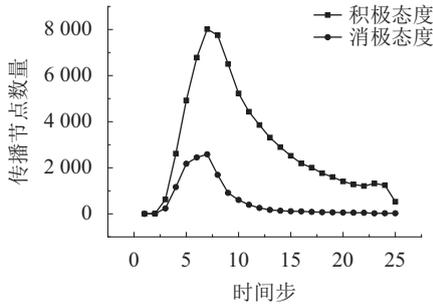
图6 有无消极态度对传播的影响

Fig.6 Influence of negative attitude on diffusion

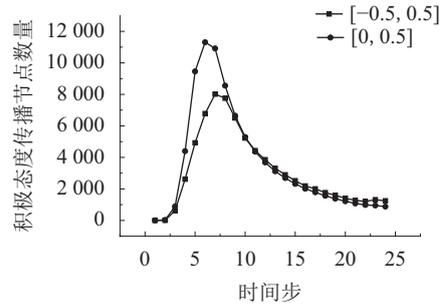
由图6可以看出,消极态度的存在对节点传播有着重要的影响,节点态度中存在消极态度时,传播节点达到峰值需要的时间更长,传播节点数量也更小。

进一步,分析不同的节点初始态度对信息传播

的影响,结果如图7所示。



(a) 初始态度[-0.5, 0.5]



(b) 初始态度[-0.5, 0.5], [0, 0.5]

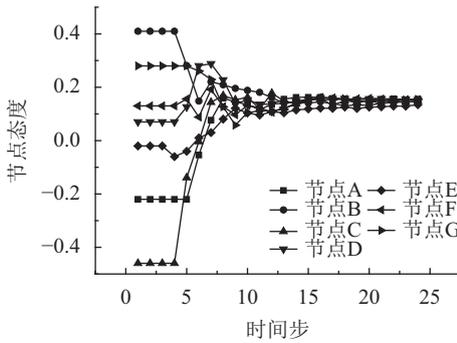
图 7 积极/消极态度传播节点的变化

Fig.7 Changes of the positive/negative diffusion node

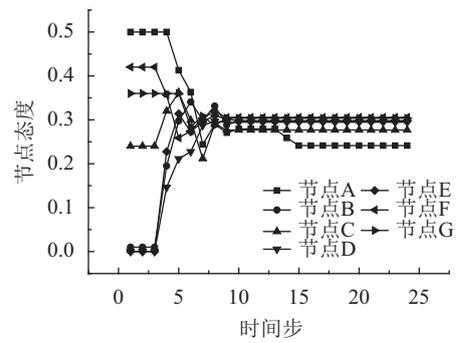
图7(a)反映了当初始节点态度存在积极和消极态度时,积极态度的传播节点相较于消极态度的传播节点峰值更大,持续时间更长。图7(b)反映了初始节点态度中不存在消极态度情况下,积极传播节点达到峰值的时间更短,并且积极传播节点的峰值更大。

本文任意选取网络中7个节点(节点A~G),分析信息传播过程中节点态度的变化,如图8所示。图

8(a)和(b)分别反映了节点初始态度在[-0.5, 0.5]、[0, 0.5]时,节点态度在传播过程中的变化,其趋势最后达到稳定,并且收敛于一定范围内。当节点初始态度存在消极态度时,节点态度收敛的数值更小,表明信息传播中节点态度具有社会学习的一致性特征,即个体初始态度彼此不同,但在与周围交流后,逐步达到一致的态度。



(a) 初始态度[-0.5, 0.5]



(b) 初始态度[0, 0.5]

图 8 传播过程中的节点态度变化

Fig.8 Change of the node attitude in the process of diffusion

2.3 信息传播拟合

抽取新浪微博数据集中关于“小米”话题进行实验。为了客观衡量模型性能,选取SIRS模型、SIR模型与本文所提模型进行对比实验。模型参数分别设置为 $\alpha = \beta = 0.3, \gamma = 0.1, \zeta = 0.7, \tau = 0.8$ 。

所提出的模型与SIRS、SIR模型及实际信息传播的拟合实验结果如图9所示。由图9可以看出:所提出的模型相较于SIRS和SIR模型,与现实网络中的信息传播更为拟合。SIR模型为理想状态下的传播模型,传播节点数量峰值大,但与真实数据差异较大。本文模型与SIRS相比,在传播初期传播节点数量的增加趋势相似,随着信息的不断传播,本文模型与真实数据更加拟合。在现实网络中,每个个体对消息存在不同程度态度,影响着信息传播过程,因此,考虑节点

态度的信息传播模型,更加符合现实网络的传播规律。

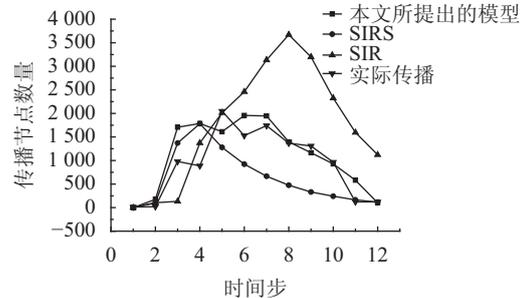


图 9 3类模型与真实数据的拟合比较

Fig.9 Comparison of three kinds of models with real data

3 结 论

社交网络信息传播受多方面因素影响,研究影

响信息传播的因素,有助于理解信息传播规律,对舆情控制等具有重要的意义。本文分析了节点态度及其变化对信息传播的影响,用节点态度描述各节点倾向于进行信息传播的程度;提出了基于节点态度的社交网络信息传播模型,该模型刻画了信息传播过程随自身因素与环境因素的变化规律。仿真结果表明本文所提模型相比于其他模型可以更好地描述信息的传播规律。

本文的研究工作有助于深入理解信息在社交网络中的传播规律,为信息传播控制提供了参考依据。社交网络中用户对信息的态度会随着时间和用户社交属性的变化而不同程度的增强或衰减。因此在未来的研究中,可进一步考虑用户之间的连接关系、连接强度、用户社交行为习惯等因素,以更加准确地描述和度量节点态度及其变化,从而进一步优化信息传播模型。

参考文献:

- [1] Hu Changjun, Xu Wenwen, Hu Ying, et al. Review of information diffusion in online social networks[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2017, 39(4): 794–804. [胡长军, 许文文, 胡颖, 等. 在线社交网络信息传播研究综述[J]. *电子与信息学报*, 2017, 39(4): 794–804.]
- [2] Wu Dapeng, Yan Junjie, Wang Honggang, et al. Social attribute aware incentive mechanisms for video distribution in device-to-device communications[J]. *IEEE Transaction on Multimedia*, 2017, 19(8): 1908–1920.
- [3] Wu Dapeng, Si Shushan, Wu Shaoen, et al. Dynamic trust relationships aware data privacy protection in mobile crowdsensing[J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2017, PP(99): 1.
- [4] Sun Guozi, Qiu Chengyan, Li Huakang. Micro-blog influence quantification model based on linear weight[J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2016, 48(1): 78–84. [孙国梓, 仇呈燕, 李华康. 基于线性加权的微博影响力量化模型[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2016, 48(1): 78–84.]
- [5] Zhang Wei, Ye Yanqing, Tan Hanlin, et al. Information diffusion model based on social network[C]//*Proceedings of the 2012 International Conference of Modern Computer Science and Applications*. Berlin: Springer, 2013: 145–150.
- [6] Xia Chengyi, Sun Shiwei, Rao Feng, et al. SIS model of epidemic spreading on dynamical networks with community[J]. *Frontiers of Computer Science in China*, 2009, 3(3): 361–365.
- [7] Zhang Yanchao, Liu Yun, Zhang Haifeng, et al. The research

of information dissemination model on online social network[J]. *Acta Physica Sinica*, 2011, 60(5): 60–66. [张彦超, 刘云, 张海峰, 等. 基于在线社交网络的信息传播模型[J]. *物理学报*, 2011, 60(5): 60–66.]

- [8] Zheng Muhua, Lü Linyuan, Zhao Ming. Spreading in online social networks: The role of social reinforcement[J]. *Physical Review E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 2013, 88(1): 2252–2279.
- [9] Wang Chao, Yang Xuying, Xu Ke, et al. SEIR-based model for the information spreading over SNS[J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2014, 42(11): 2325–2330. [王超, 杨旭颖, 徐珂, 等. 基于 SEIR 的社交网络信息传播模型[J]. *电子学报*, 2014, 42(11): 2325–2330.]
- [10] Wang Jinlong, Liu Fangai, Zhu Zhenfang. An information spreading model based on relative weight in social network[J]. *Acta Physica Sinica*, 2015, 64(5): 63–73. [王金龙, 刘方爱, 朱振方. 一种基于用户相对权重的在线社交网络信息传播模型[J]. *物理学报*, 2015, 64(5): 63–73.]
- [11] Xu Jie, Yu Yahong, Gao Chengyi, et al. Nonlinear analysis and optimal control of an improved SIR rumor spreading model[J]. *Journal of Communications*, 2015, 10(8): 638–646.
- [12] Meng Zaiqiao, Fu Xiufen. Dynamic information spreading model based on online social network[J]. *Journal of Computer Applications*, 2014, 34(7): 1960–1963. [蒙在桥, 傅秀芬. 基于在线社交网络的动态消息传播模型[J]. *计算机应用*, 2014, 34(7): 1960–1963.]
- [13] Zhang Yaming, Tang Chaosheng, Li Weigang. Research on interest attenuation and social reinforcement mechanism for rumor spreading in online social networks[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2015, 34(8): 833–844. [张亚明, 唐朝生, 李伟钢. 在线社交网络谣言传播兴趣衰减与社会强化机制研究[J]. *情报学报*, 2015, 34(8): 833–844.]
- [14] Zan Yongli, Wu Jianliang, Li Ping, et al. SICR rumor spreading model in complex networks: Counterattack and self-resistance[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2014, 405: 159–170.
- [15] Liu Qipeng, Wang Xiaofan. Social learning with bounded confidence and heterogeneous agents[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2013, 392(10): 2368–2374.
- [16] Karataev E, Zadorozhny V. Adaptive social learning based on crowdsourcing[J]. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2017, 10(2): 128–139.

(编辑 赵 婧)

引用格式: Huang Hongcheng, Sun Xinran, Hu Min. An information diffusion model of social network based on node attitude[J]. *Advanced Engineering Sciences*, 2018, 50(1): 113–119. [黄宏程, 孙欣然, 胡敏. 基于节点态度的社交网络信息传播模型[J]. *工程科学与技术*, 2018, 50(1): 113–119.]