

基于网民心理的微博舆论传播模型及仿真研究^{*}

张亚楠^a, 何建佳^{a,b}

(上海理工大学 a. 管理学院; b. 超网络研究中心(中国), 上海 200093)

摘要: 根据社交网络中微博舆论的传播特点, 针对不同心理倾向的网民对舆论观点和传播的影响进行研究。通过分析微博事件得出舆论传播中网民的心理特征, 并在此基础上构建了基于网民心理的微博舆论传播模型, 研究了有向社交网络中不同群体中舆论观点的形成和传播特征。研究表明, 舆论传播过程中网民的非理性心理会加速信息的传播和扩散, 而且当信息可信度有争议时, 非理性群体中的大部分个体会传播与该信息相反的观点; 另外, 当辟谣信息可信度发布不及时或可信度不高时, 网民中的非理性心理会加剧该信息的反作用效果。最后通过实例分析验证, 该模型与实际相符, 可为引导微博舆论提供理论依据。

关键词: 社交网络; 舆论传播; 网民心理; 非理性群体

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2018)05-1298-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2018.05.004

Spreading model and simulation analysis of microblog public opinion based on psychology of netizen

Zhang Yanan^a, He Jianjia^{a, b}

(a. Business School, b. Super Network Research Center (China), University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: According to the propagation characteristics of microblog public opinion in the social network, this paper studied the influence of Internet users with different psychological inclination on public opinion and communication. Through the analysis of the psychological of microblog users in the dissemination of public opinion, this paper built the microblog public opinion propagation model based on the psychology of Internet users, and then studied the formation and propagation of public opinion in directed social networks. Simulation showed that the irrational psychology of Internet users would accelerate the spreading and diffusion of information in the process of microblog communication. Furthermore most of the irrational group spreaded the opposite view when the credibility of information was controversial. Research had also shown that when the credibility of microblog refuted rumor information was not high or the information release was not in time, the irrational psychological users would exacerbate the adverse effect of the information. Finally, through the instance data analysis, the model is consistent with the reality which can provide theoretical basis for guiding the public opinion of microblog.

Key words: social network; public opinion spreading; psychology of Internet users; irrational group

0 引言

自 Twitter 诞生后, 微博的影响力越来越大, 现已成为网民表达自己观点的重要平台, 也是推动舆论事件发展的主流媒体之一。其网络拓扑结构所具有的小世界和无标度特性, 使信息在网络中的传播阈值几乎为零^[1]; 另外, 由于它具有中心性、开放性和匿名性等特点, 使大部分网民发表言论时缺乏自我约束和道德感, 导致部分敏感信息的舆论导向难以把控。通常情况下, 微博传播始于初始传播节点发布的某一信息, 之后该信息被受众关注、评论和转发, 最后直到网民对该消息失去兴趣不再传播。而该过程中, 信息扩散演化机制及网民观点传播特征等, 对舆情分析和谣言传播控制具有重要的作用和实际应用价值。就此, 国内外学者对微博舆论传播开展了大量相关方面的研究。

研究过程中, 研究人员从各个方面对舆论传播进行了探讨

和分析。首先, 用户关系网络拓扑结构对信息传播具有重要的影响。社交网络信息传播研究中, 常用到的有无标度网络或其变型网络^[2-4]以及由真实数据抽象出来的微博实证网络^[5,6]。Fan 等人^[7]对新浪微博的网络结构及信息扩散进行了研究, 发现新浪微博的拓扑结构具有小世界和无标度特性, 度分布服从幂律分布。Jackson^[8]通过网络结构连接的游戏玩家, 分析了网络结构对个人行为的影响, 通过对一个区域的耦合理论分析说明了网络结构会对动力学和网络政策具有重要的影响。其次, 用户特征如情绪、粉丝数、影响力等因素对个体传播行为的影响。Kramer 等人^[9]的研究表明了 Twitter 上网民情绪会相互感染而且会影响网民的转发和发博行为。Tang 等人^[10]实证分析了 Twitter 上的三大品牌用户的粉丝取消关注行为, 研究表明意见领袖的行为对个体取消关注行为具有重要的影响。韩少春^[11]根据社交网络个体的评论转发行为特性、对社交网络中不同个性网民对信息传播的影响, 发现热衷者对信息传播具

收稿日期: 2017-01-05; **修回日期:** 2017-03-03 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(71171135); 上海市高原学科(管理科学与工程)建设项目; 上海高校青年教师培养资助计划项目(slg14020); 上海市哲学社会科学规划项目(2016EGL007)

作者简介: 张亚楠(1991-), 女, 河南许昌人, 硕士研究生, 主要研究方向为复杂网络建模与仿真; 何建佳(1981-), 男, 湖南道县人, 硕导, 博士, 主要研究方向为管理科学、超网络等(ouran2003@163.com)。

有巨大的影响。然后,文本对个体转发行为的影响。Suh 等人^[12]研究了影响用户转发行为的因素,结果发现包含链接和标签的微博更容易被转发。Huang 等人^[13]对用户转发行为进行了预测,其中发现,微博文本信息与用户偏好的相似性对用户转发的影响呈正相关。

另外,有关信息传播动力学行为的研究通常是建立在传染病模型的基础上^[14],借助传播状态 S、I、R 表征信息的受众、传播者以及免疫者。如今,随着该领域研究的逐渐成熟,为更好地模拟真实的信息传播情况,学者们在原模型基础上设计了更为合理的传播机制并为不同的情形增添了不同的影响因素,以达到不同的研究目的。顾亦然等人^[15]考虑到用户看到微博信息的延迟性,将潜伏态节点(E)引入到经典的 SIR 模型中,提出了新的 SEIR 模型,并给出了一个解决在线社交网络中谣言抑制问题的高效免疫策略——重要熟人免疫策略。Liu 等人^[16]研究具有重叠社区结构的复杂网络信息传播特征,构建了 SARS(susceptible-adopted-removed-susceptible)模型,利用平均场理论研究了扩散模型动态以及社团结构对社会信息传播的影响。Liu 等人^[17]考虑到受众对信息的兴趣度和传播者自身的亲和力等因素,提出了一种基于亲和力的 SKIR(susceptible-known-informed-refractory)模型,结果表明最终信息传播的程度受亲和力阈值、网络的度以及对信息失去兴趣的概率的影响。王金龙等人^[18]将用户之间的相互影响力引入到 SIR 模型中,建立了一种基于用户相对权重的社交网络信息传播模型 RWSIR(relative-weights-susceptible-informed-refractory),并在六种不同网络拓扑结构下进行了仿真实验,结果表明该模型在非均匀网络中更能体现真实网络的特点,并且同时验证了节点的地位影响着信息的传播。

虽然以上研究从不同角度、规则、环境下分析了社交网络中的信息传播行为,但是在微博环境下,信息受众来源广、差异大,若将众多网民视为同样的个体制定同样的传播和演化规则,这显然是不合理的。考虑到目前社交网络中,非理性舆论对社会的不良影响,而网民情绪是影响个体行为的一个不可忽视的因素^[19]。因此,本文尝试着将网民情绪这一个体的定性特征转换为表征网民心理的定量因素,通过适当的传播规则模型以研究网民情绪对舆论传播的影响。事实上,在社交网络舆论事件中,网民心理有很多种类型,如宣泄心理、匿名心理、从众心理、猜忌心理等,而各个心理非单独存在导致逐个研究这些心理对网络舆论的影响难度系数很大。因此,根据研究的必要性,本文将发表非理性舆论的网民心理称之为非理性心理,反之称之为理性心理,并在此基础上构建以 SIR 模型为基础的基于网民心理的舆论传播模型,设定不同类别个体遵循不同的信息传播和观点演化规则。最后,在该模型和演变规则的基础上,探讨并研究了信息可信度、信息受众类别以及辟谣信息的发布时刻和可信度等因素在微博舆论信息传播中的作用和影响。

1 相关工作

传统 SIR 模型将节点传播状态分为三类,即易感染节点 S、传播节点 I 和免疫节点 R。易感染节点是指还不知道消息,但有接收消息的能力并有一定的几率传播消息的节点;传播节点是指知道消息,并且有能力将消息传播给其他节点的节点;免疫节点是指已经知道消息但不具备传播消息的能力或者是对消息失去兴趣而不愿再传播消息的节点。

初始态网络中只含有一个传播节点,其他为易感染节点。信息在社交网络中的传播规则如下:

- a) 易感节点与传播节点接触后,以概率 α 成为传播节点。
- b) 传播节点不会无休止传播下去,以概率 β 成为免疫节点。
- c) 系统达到平衡,直到网络中不再含有传播节点。

事实上,微博信息传播过程与 SIR 传播原理十分吻合,因此目前大多数社交网络信息传播方面的研究,依然建立在传统 SIR 模型基础之上。正如大家所熟知,新浪微博中某一事件的传播通常以用户的转发为主。起初,某用户在自己微博中发表某事件信息,之后被该用户的粉丝看到并作出相应的行为:或不感兴趣一览而过;或评论阐述自己观点;或兴趣使然转发于自己的账户。依此推之,重复该过程,直到用户对该事件失去兴趣停止传播。整个过程涉及网民间观点的交流及信息的传播。

为探知网民情绪在上述过程中所发挥的作用和产生的影响,本文在央视新闻的新浪微博账号中,提取了 2016 年 7 月份发生的“台湾大巴起火”事件及其后续事件微博下的评论,另外借助微博分析工具^[20]统计分析后发现以下特征:

- a) 事件进展过程中,信息文本内容牵动着网民的情绪。
- b) 事件所披露出的信息不准确时,部分网民会不予理会;部分网民会产生反抗呼声,要求还原真相;部分网民则会产生极端情绪,发表极端意见扰乱民心。
- c) 情绪相近者往往会持相近的观点,但在不同情境中理性和非理性群体的反映不同,如在该事件中,愤怒者都会怒斥该司机的行为。愤怒是人之常情,但其中不乏一些非理性个体,将愤怒升华转换为极端的抵台言论。
- d) 观点相近的网民汇聚在一起交流意见。当遇到意见相反的观点时,一部分个体会“以理服人”试图扭转对方观点;一部分个体会“激烈言论”坚决否定对方观点;还有一部分会忽视对方观点,不会与之交流。

以上研究分析说明了微博用户的心理特征对信息传播以及事件看法的影响,另外,网民接收到的新信息与旧信息相冲突时,不同心理倾向网民的反映符合认知失调理论^[21]。基于此,本文在 SIR 模型的基础上,根据上述分析发现的特征建立了基于网民心理的微博舆论传播模型,以契合新浪微博账户中信息的传播机制。同时,构建了真实的社交网络,以模拟网民心理对信息传播的影响。

为模拟真实网络舆论模型,选取了互联网 UCI 数据库中的新浪微博数据^[22]作为本文构建社交网络的数据。剔除一些无效数据后,该网络中含有 99 067 个用户数和 141 885 条用户关系,网络中的节点代表微博用户,他们之间的连线代表用户间“关注”和“被关注”关系。如果节点 v_j 关注了节点 v_i ,那么连接一条从 v_j 到 v_i 的有向线段,表明节点 v_i 发布的信息可以被 v_j 看到从而评论和转发;同时,当 v_i 也关注 v_j 时, v_i 和 v_j 间构成双向连线。该网络的粉丝数入度分布如图 1 所示,服从幂律分布。另外,通过计算得出其网络特征值:平均入度为 1.42,平均度为 2.71,平均路径长为 7.364 6,聚类系数为 0.003 7,符合真实网络中“物以类聚,人以群分”的特点。因此,根据 UCI 数据库中的新浪微博数据构造的网络,既具有小世界又具有无标度网络的特性,能够作为仿真舆论信息传播的真实网络。

2 基于网民心理的微博舆论传播模型

2.1 个体影响力权重

在微博平台中,不同个体所发挥的影响力也不同,如一些官

方和明星微博,其影响力和粉丝的数量对信息的传播起到了很大的促进作用。因此,本文从节点度方面考虑了不同个体的影响力。定义网络节点 v_i 的入度和出度分别为 $\text{dei}(v_i)$ 、 $\text{deo}(v_i)$, 分别表示个体 v_i 的粉丝数和朋友数。节点 v_i 的出度节点集合表示为 $\text{Deo}(v_i) = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im}\}$, 节点 v_i 的入度节点集合表示为 $\text{Dei}(v_i) = \{v_{1i}, v_{2i}, \dots, v_{ni}\}$, m 和 n 分别表示节点的出度和入度值。

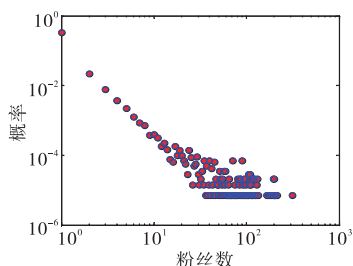


图1 粉丝数入度分布

设节点 v_j 关注了 v_i , 那么节点 v_i 对节点 v_j 的影响力为

$$f(v_j, v_i) = \frac{\text{dei}(v_i)}{\sum_{v_k \in \text{Deo}(v_j)} \text{dei}(v_k) / m} \quad (1)$$

其中:分子为节点 v_i 的入度,即 v_i 的粉丝数;分母中 m 是节点 v_j 的出度,其整体含义为节点 v_j 的出度节点的平均入度,即 v_j 所有朋友的平均粉丝数。式(1)的整体含义为, v_j 的朋友的粉丝数越多,对 v_j 的影响就越大。

2.2 个体属性

为突出和区分不同个体的特性以及为后期叙述的简洁性,对个体属性进行了如下集中性的设置:

a) 观点属性 o_i 。个体观点是个体对事件的认知和看法,令其取值为 $[0, 1]$, 其中, $[0, 0.33]$ 表示反对观点, $(0.33, 0.67)$ 表示中立观点, $[0.67, 1]$ 表示支持观点。

b) 传播状态属性。结合传染病的传播模型 SIR, 将个体状态分为三类:未收到信息的健康节点 S , 收到信息并有能力传播信息的传播节点 I , 以及接收到消息但不转发消息的免疫节点 R 。

c) 心理倾向属性 x_i 。本文将网民心理倾向分为非理性和理性心理倾向,并根据心理倾向将网民分为两大类,即非理性群体 N -和理性群体 R 。非理性群体指的是极端情绪的一类个体,面对所发生的事件,其自身缺乏理性分析,易根据自身的旧认知来判断新事件,而且当遇到与自己心理倾向相近的个体时容易抱团随大流的一类群体;理性群体指的是正常情绪的一类个体,面对所发生的事件时,能冷静判断,不以旧认知来看待新事物,当新旧认知出现冲突时,愿意寻找证据追求真相的一类群体。令心理倾向值的取值为 $[0, 1]$, 其中 $[0, 0.5)$ 表示非理性群体,值越小个体越执拗; $[0.5, 1]$ 表示理性群体,值越大个体越理性。

d) 观点阈值 u_i 。观点阈值的取值范围为 $[0, 0.5]$, 其含义为,在个体观点阈值内的个体的观点才能相互影响, u_i 越小,自身观点越不容易受影响。

e) 影响力 w_{ji} 。基于节点的位置因素, v_i 对 v_j 的影响力大小,其中 $w_{ji} = f(v_j, v_i)$ 。节点对关注者的影响力越大,相对威望也就越大,越可能带动关注者传播信息的意向。

f) 信任阈值 γ_i 。表示对所发布消息的可信度接收范围。如果消息可信度大于个体的信任阈值,那么该消息可能被接收

和传播,否则,不会被接收和传播。

2.3 观点传播模型及演化规则

信息传播仿真过程大致如下:a) 根据 UCI 数据生成微博关系网络;b) 给每个节点赋予初始观点值 $o_i \in [0, 1]$ 和心理倾向值 $x(v_i) \in [0, 1]$, 再选择一节点作为初始传播节点记为 v_i , 将其节点传播状态标记为 I , 其他节点传播状态标记为 S , 并单独赋予观点值 o_i 和心理倾向值 x_i , 此处的 o_i 相当于信息的文本观点;c) 随机挑选传播状态为 I 的节点进行传播,直到所有的传播状态节点都被选中,这称为一个时步;d) 根据网民心理情绪值判断其所属群体,并依据相应规则进行观点的演化和信息的传播。在信息传播过程中,可以将初始传播节点的观点值 o_i 看做是事件本身所阐述的信息,心理倾向值 x_i 作为衡量个体特性的标准,其他个体的初始观点值看做是个体的旧认知。 I 节点发出信息, S 节点或 I 节点接收到信息后,其旧认知与信息新认知发生交互,根据相应的规则调整自己的旧认知,并决定是否转发信息。具体演化规则如下:

a) 当信息受众 v_j 为 S 态节点并且属于 N -群体时,如果 $|o_j' - o_i'| < u_j$, 即 v_i 所发送的信息观点与个体旧认知相近,那么

$$o_j^{t+1} = (1 - \alpha) o_j^t + \alpha \times [w_{ji} o_i^t + (1 - w_{ji}) o_i^t] \quad (2a)$$

$$I_i + S_j \xrightarrow{p_i = \alpha} I_i + I_j \quad (2b)$$

其中: $\alpha = 1 - \frac{|x_i - x_j|}{0.5}$, $0 \leq \alpha \leq 1$ 。如果 $|o_j' - o_i'| \geq u_j$, 即个体旧

认知与突发事件有差距,那么 $o_j^{t+1} = \begin{cases} 1 - o_i^t & \sigma \leq \gamma_j \\ o_i^t & \sigma > \gamma_j \end{cases}$ 。也就是

说,当非理性个体的新旧认知发生冲突时,如果新认知可信,那么个体就接收新认知替换旧认知;否则,就对新认知起反对意见。

式(2)中的 α 表示个体心理的吻合程度,心理差值越小,被传播者越容易采纳和转发传播者的观点。 $w_{ji} o_i^t + (1 - w_{ji}) o_i^t$ 所表达的含义是,被传播个体不仅受传播个体观点的影响,还受信息文本观点的影响。在微博平台中,个体是依靠转发来传播观点,故信息文本观点的影响不可忽视。当传播者影响力越大,其对该事件的看法对被传播者的影响越大,否则,被传播个体受信息文本内容的影响越大。

b) 当关注者 v_j 为 I 态节点并且属于 R + 群体时,如果 $|o_j' - o_i'| < u_j$, 即个体旧认知与传播者 v_i 所发送的信息观点相近,则

$$o_j^{t+1} = \beta o_j^t + (1 - \beta) [\sigma w_{ji} o_i^t + (1 - w_{ji} \sigma) o_i^t] \quad (3a)$$

$$I_i + S_j \xrightarrow{p_i = \sigma} I_i + I_j \quad (3b)$$

式(3)中: $\beta = \frac{x_i - 0.5}{0.5}$ 表示个体的相对理性程度, x 越大则 β 越

大,相对理性程度越大,个体越不轻易改变自己的观点, σ 表示信息的可信度。式(3)整体的含义是,被传播者观点的改变,不但与自身旧认知相关,还与传播者和信息文本观点有关。传播者的影响力越大,信息可信度越大,对被传播者的影响越大,否则,被传播者受事件本身内容的影响越大。另外,相对理性个体而言,转发观点的概率与信息的可信度相关。

如果 $|o_j' - o_i'| \geq u_j$, 即个体旧认知与突发事件有差距,那么 $o_j^{t+1} = \begin{cases} o_i^t & \sigma \leq \gamma_j \\ o_i^t & \sigma > \gamma_j \end{cases}$, 也就是说,当理性个体的新旧认知发生冲突时,如果新认知可信,那么个体就接收新认知替换旧认知;否

则,忽视新认知保持旧认知。与非理性个体相比,当信息可信度低时,理性个体更愿意保持自己原有认知,以等待事件的进一步更新。

c) 当关注者 v_j 为传播节点时,传播状态不变,按式(2)(3)更新观点值。根据社交网络中网民情绪感染原则^[10],微博网民之间经常无意识地互相模仿和情绪传染。因此,假设当传播节点遇到传播节点或者易感节点时,只要 $|o_j^i - o_i^j| < u_j$, 个体 v_j 的心理倾向按式(4)更新为

$$x_j^{t+1} = x_j^t + \eta_j(x_i^t - x_j^t) \quad (4)$$

其中: η 是情绪收敛参数, $\eta \in [0, 0.5]$ 。式(4)表达的含义为,在新旧认知相近的情况下,被传播个体的心理倾向会向传播者逐渐靠近。

d) 根据信息传播中的抑制机制, I 传播态节点不会无止境地传播下去,而是在传播过程中以概率 $\delta = 0.1$ 变为免疫节点。当网络中不再含有传播态节点时,系统演化结束。

3 仿真与分析

3.1 信息源节点度对信息传播的影响

社交网络中,信息源的粉丝数对信息传播过程的影响如图2、3所示,分别为不同入度的信息源对信息传播时间和传播程度的影响,该数值为百次实验的平均结果。从图2可以看出,信息源入度的大小对信息传播时长有负向影响,即入度越大,传播时间越短,反之则传播时间越长。同时,由图3可知,无论信息源的节点度为最大值114还是最小值1,最终对信息传播程度没有明显的影响,均在0.65上下波动。另需说明的是,当信息源的出度为1时,图3中统计的数值是信息正常传播情况下的平均值,事实上,其中有一部分节点无法将信息向外传播,其传播程度不足0.01%,故这部分节点未计入统计范畴之内。而且,究其原因发现,出度为1却能正常传播信息的节点,是因为在其传播过程中部分入度大的节点被感染所致。总体来说,信息源的入度对信息传播程度的影响不大。

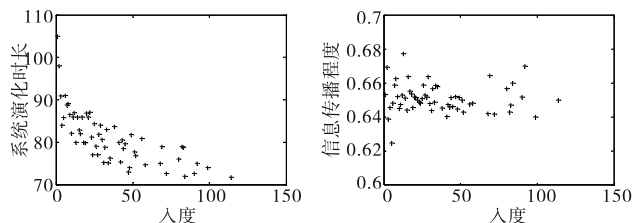


图2 系统演化时长随信息源入度的变化 ($\sigma=0.5, o_i^0=0.1, x_i=0.5, R+$ 群体)

图3 信息传播程度随信息源入度的变化 ($\sigma=0.5, o_i^0=0.1, x_i=0.5, R+$ 群体)

3.2 信息与观点的传播

根据本文构建的信息传播动力学模型,首先研究了该模型下不同类型个体的信息传播和观点演化特点,如图4、5所示,分别为理性群体和非理性群体中传播状态和观点的变化图。

由图4可以看出,无论是理性群体还是非理性群体,随着时间的增长, S 态节点逐渐减小,最后趋于平稳, I 态节点先增大后减小为0,最终系统中只含有 S 态节点和 R 态节点。由平稳时系统中 R 态节点的密度可以看出,在相同条件下,信息在非理性群体中更容易扩散和传播。由图5可以看出,在初始节点持反对观点、信息可信度为0.5的前提下,无论是理性群体还是非理性群体,其最终的平衡观点持反对意见者居多。另

外,在理性群体中,当信息可信度低时,一部分信任阈值低的个体选择与信息传播者一致的观点,其他个体保持中立观点和与信息传播者反对的观点,而且两者比例相当,最终群体中反对者与支持者比例约为3:1,反对观点最终占据优势。而在非理性群体中,信任阈值低的个体选择与信息传播者一致的观点之外的其他个体,则是更多地选择了与信息传播者相反的观点,持中立态观点的个体很少,最终群体中支持和反对者比例相当,约为1:1。总之,相比于理性群体,当信息可信度为0.5时,非理性群体中的观点更难以一致,正反观点个体数相持不下。

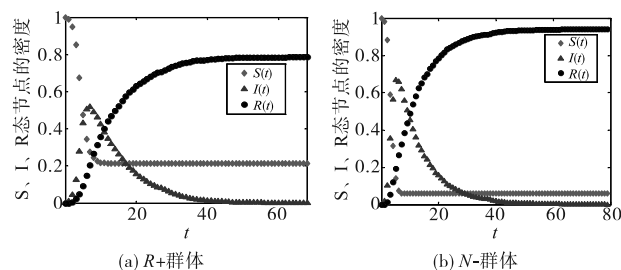


图4 节点传播状态随时间的变化($\sigma=0.5, o_i^0=0.1, x_i=0.5, dei(v_i)=114$)

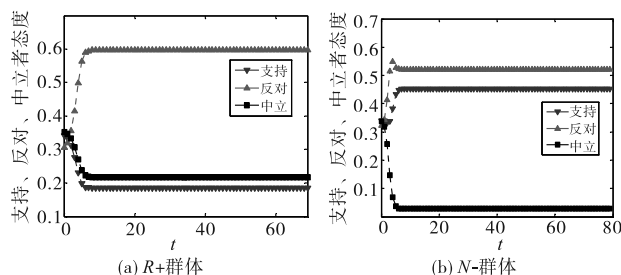


图5 观点的密度随时间的变化($\sigma=0.5, o_i^0=0.1, x_i=0.5, dei(v_i)=114$)

3.3 信息真实性的影响

信息传播过程中,信息文本的可信度对个体影响占据着很重要的地位,图6、7分别给出了 R+ 群体和 50% 的 R+ 与 N-混合群体中,可信度对信息在该群体中传播程度的影响,该数据是 100 次重复实验的平均值。

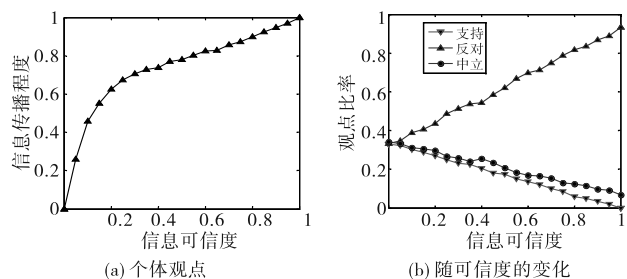


图6 信息传播程度($\sigma=0.5, o_i^0=0.1, x_i=0.5, dei(v_i)=114, R+$ 群体)

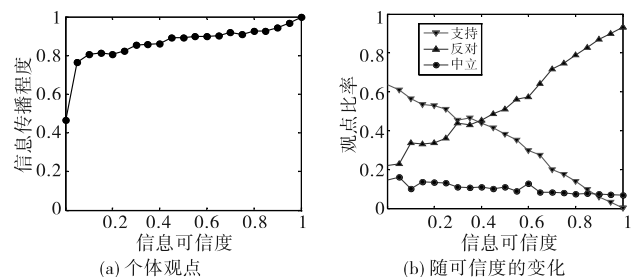


图7 信息传播程度($\sigma=0.5, o_i^0=0.1, x_i=0.5, dei(v_i)=114$, 含 50% R+ 的混合群体)

由图6可以看出,理性群体中信息可信度的增加会促进信息传播程度的增大。当可信度为0时,信息传播程度为0;当可信度为1时,信息传播程度为1。也就是说,对于理性群体而言,信息是否真实在观点的转发和传播中具有非常重要的地

位。由于系统初始观点随机分布,所以起初观点的支持、中立和反对比是1:1:1。图6中当信息可信度为0时,系统平衡时的观点比例不变,也就是说,当初始传播者传播虚假信息时,理性个体不会对该信息予以理会,既不会转发信息也不会改变自己原有的认知,因此系统平衡时支持和反对比依然为1:1。随着信息可信度的增加,信任阈值较低的个体选择相信博主发布的信息,并与博主意见保持一致,于是反对的声音越来越多,支持的声音越来越少。当信息可信度升至1时,反对观点比例约为93.25%,支持观点比例为0,也就是说,当传播信息为真实时,理性个体中不会出现与该真实信息相悖的观点。

由图7(a)可以看出,混合群体中,当信息可信度为0时,信息的传播程度约为46.57%,并且随着时间的增长,传播程度也逐渐增大。与图6(a)相比,相同可信度下,非理性个体的整体信息传播程度要高于理性群体。由图7(b)的个体观点变化曲线可以看出,当信息可信度为0时,支持观点的密度要远远大于反对观点的密度,之后随着时间的增长支持观点逐渐下降,反对观点逐渐上升。与图6(b)理性群体的观点变化相比,当信息的真实性较低时,非理性个体更容易表现出与博主意见相反的观点。总的来说,群体中非理性个体的存在加速了信息的传播速度,并且当信息可信度低时,更容易激起非理性个体的反抗意见。

3.4 不同群体中辟谣信息的传播

初始时刻节点 v_i 发布信息 $o_i^0=0.1$,被传播和扩散;之后, t_1 时刻,当节点 v_i 发布一条与初始信息观点相反的辟谣信息,观点 $o_i^1=0.9$,可信度 $\sigma^1=1$ 时,网民观点的演化情况如图8、9所示,分别为理性群体观点和混合群体(50%R+、50%N-)观点随辟谣信息发布时刻 t_1 和辟谣信息可信度 σ^1 的变化图。

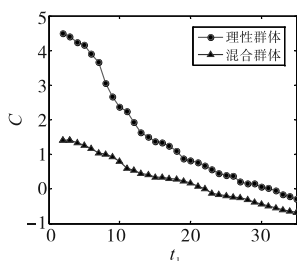


图8 观点的变更率随辟谣信息发布时间的变化($o_i^0=0.1, x_i^0=0.5, o_i^1=0.9, \sigma^0=0.5, \sigma^1=1, \text{dei}(v_i)=114$)

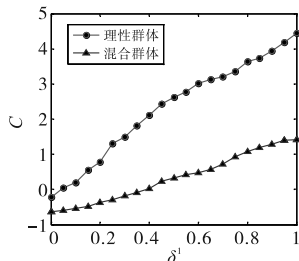


图9 观点的变更率随辟谣信息可信度的变化($o_i^0=0.1, x_i^0=0.5, o_i^1=0.9, t_1=2, \text{dei}(v_i)=114$)

记个体未发布辟谣消息情况下,系统平衡状态时支持者比率为 S_0 ; t_1 时刻个体发布辟谣信息情况下,系统平衡状态时的支持者比率记为 S_1 ,那么支持者变更比率记为 $C=(S_1-S_0)/S_0$ 。如果 $C>0$,说明辟谣信息发布后,系统中支持者的比率比未发布辟谣信息时支持者比率增加了 C 倍,如果 $C<0$,则减少了 C 倍。其中,由图6(b)、图7(b)可以分别得出,理性群体 $S_{01}=0.173$,混合群体 $S_{02}=0.382$ 。

由图8可以看出,随着个体发布辟谣信息时间的增加,网民中支持者变更比率越来越小,而且,理性群体中当 $t_1>31$ 以及混合群体中 $t_1>22$ 时,支持者变更率均小于0。也就是说,辟谣信息发布得越晚,该消息所起到的效果就越小,甚至会起到反效果。与理性群体相比,含有非理性个体的混合群体,支持者变更比率相对较平缓,这是由于混合群体支持者变更比率

基数 S_0 较大的缘故,事实上,在 $t_1=2$ 的情况下,系统稳定时理性和混合群体中的支持者比率分别约为94.9%和92%。值得注意的是,在辟谣信息发布不及时的情况下,混合群体比理性群体更容易发动与辟谣信息相反的反抗言论,这一点,由两个群体支持者变更比率小于0时的辟谣时间上便可看出。

由图9可以看出,个体所发布的辟谣信息可信度越大,系统平衡时网民支持者变更率就越大。当辟谣信息可信度为1时,理性和混合群体中的支持者比率分别为95%和92%,比辟谣前增长了4.45和1.14倍。当理性群体 $\sigma^1<0.4$ 和混合群体 $\sigma^1<0.05$ 时,支持者变更比率均小于0,即在该情况下辟谣后支持者的比率更小了。与理性群体相比,在含有非理性群体的混合群体中,引发个体采取与辟谣信息相反言论的可信度要高。

总而言之,针对网络事件中的辟谣信息,发布的时间越早,可信度越高,所达到的效果就越好,个体观点扭转的比例就越高。另外,针对含有非理性个体的网民受众,如果辟谣信息发布不及时或者其可信度不高,会使辟谣信息产生更大的反效果,导致更多网民持反抗意见。

4 微博舆论事例分析

为真实研究微博中网民心理对舆论事件的影响,本文利用爬虫程序从新浪微博“南京交警”的账户中抓取了2015年南京6·20车祸事故的相关报告以及用户对该信息的评论和转发信息,过滤掉重复和无效信息后共有35 285条,然后对这些数据进行分析。该事件发展过程中,包含了本文所要研究的网民对舆论信息的观点以及其心理特征,最重要的是该事件中网民观点是对官方所发微博内容的支持与否,这与文章所体现的思想一致。因此可以通过分析该事件数据,对本文所构建模型进行验证。

4.1 舆论事件

南京6·20车祸事故的舆论相关报告信息及时间如图10所示。图中横线上半部分是南京交警通过新浪官方微博发布的信息内容以及发布时间,共五条记录,也是抓取和分析数据的来源。横线下半部分是在官方信息发布的时间节点期间,微博用户、媒体等其他微博账号所发布的与官方微博不一致的相关信息,该部分内容呈现了事件发展过程中除官方之外所发布的其他舆论信息。

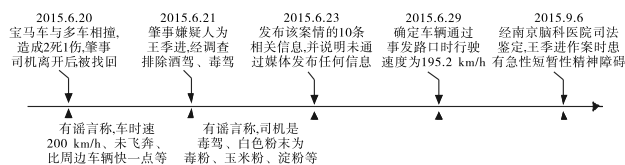


图10 南京6·20事件相关信息报道

4.2 事件分析

通过分析数据,将网民的观点分为网民对交警所发舆论信息的信任、怀疑和三种,同时将网民表达观点时的心理分为理性和非理性。为研究需要,将转发者观点分为五种,具体说明如表1所示,其在事件中的分布如图11所示。为保证准确性,对微博信息的观点和心理分类采取了人工标注的方法,三人标注,至少两人一致,则该结果正确。

表1 网民对事件的观点分类

符号	说明	举例
RS	理性支持官方言论	“相信警察”“官方措辞严谨”“相信会还原真相”
IS	非理性支持官方言论	“造谣媒体必须抓起来”“说‘我不听’都是ZZ”
RA	理性反对官方言论	“通告不明确,无公信力”“说辞有很多疑点”
IA	非理性反对官方言论	“收了不少好处”“神编剧”“肇事司机被掉包”
N	中立(无表明观点)	“转发微博”“只关注,不评论”“等待进一步通报”

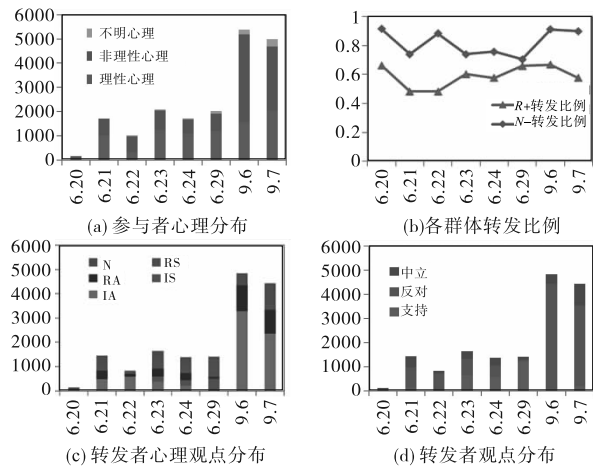


图11 网民心理、观点在舆论事件中的分布

综合图 10、表 1 和图 11 可以看出,个体心理对网民观点具有重要的影响。a) 信息在非理性群体中传播的比率更大,如图 11(a)(b)所示,非理性群体的转发率总是高于理性群体的转发率;b)对图 10 和图 11(d)分析可知,当信息的发布内容与网民预期相悖或与之前接收到的信息不一致时,舆论中的反对的声音会远远大于支持的声音,主要是由于网民对该信息的信任度降低,从而发出反对或质疑的观点;如果舆论信息的可信度有争议,那么非理性个体中持反对意见的个体比例要高于理性个体中持反对意见的个体比例,如图 11(c)所示;当信息的可信度高时,理性群体和非理性群体中绝大多数持支持者观点,如图 11(c)(d)中 6 月 29 号的信息数据;c)从信息发布的时间角度出发,分析由图 11(c)(d)可以发现,与 6 月 21 号和 6 月 23 号辟谣信息发布后个体观点相比,9 月 6 日辟谣信息发布之后,网民中持反对观点个体是之前的 5~6 倍,而非理性反对观点的个体比例是之前的 7~8 倍,由此可知,辟谣信息可信度低或发布不及时,无法起到逆转舆论的作用,甚至由于群体中非理性个体的存在,导致该辟谣信息起到相反的作用效果。

5 结束语

本文在传统 SIR 模型的基础上,根据真实社交网络中微博信息传播的特点,构造了可以表示个体关注和被关注关系的有向网络。另外,通过分析微博舆论事件的评论转发信息,总结出网民的心理和传播特征,并在此基础上构建了基于网民心理倾向的信息传播模型,最后通过微博实例数据分析,证明了模型的有效性。该模型的特点为:a)符合社交网络中网民转发、评论微博的真实行为;b)模型中观点、心理倾向、信息可信度等参数的设置,为深入研究网民心理对微博舆论信息传播的影响提供了理论支持。

仿真实验揭示了以下规律:a)信息源的粉丝数越多,信息

传播得越快,但信息源粉丝数的多少对最终的信息传播程度影响不大;b)相比于理性群体,相同条件下信息在非理性群体中更容易扩散和传播,而且当信息可信度为 0.5 时,理性群体正负观点比例相差较大,而非理性群体正负观点比例相当;c)传播过程中,信息可信度越大,传播的程度就越大,支持初始传播者观点的人就越多,而群体中非理性个体的存在提高了信息的传播速度和程度,另外信息可信度低的情况下,混合群体中驳斥初始观点意见的个体要远大于理性群体,也就是说,当网络事件不可信时,依然会被网民广为传播,并且群体中反抗者剧增;d)网络事件中,辟谣信息发布的时间越早,可信度越高,最终观点扭转的个体就越多。另外,与理性群体相比,如果受众是含有非理性群体的混合群体,那么辟谣信息发布不及时或可信度不高,都会使辟谣信息产生反效果,导致更多网民持反对意见。

研究揭示了社交网络中网民的心理特点对舆论观点和传播的影响,为舆论的监控和引导提供了一定的思路和方法。但需要指出的是,本文对网民心理和类型的划分并不是很精细,如何通过文本技术将网民心理定性归类、细致性地量化并整合到模型中,可以作为今后进一步的研究工作。

参考文献:

[1] Newman M E J. The structure and function of complex networks[J]. SIAM Review,2003,45(2):167-256.

[2] Sun Ling, Liu Yun, Zeng Qing'an, et al. A novel rumor diffusion model considering the effect of truth in online social media[J]. International Journal of Modern Physics C,2015,26(7):1550080.

[3] Hosseini S, Azgomi M A. A model for malware propagation in scale-free networks based on rumor spreading process[J]. Computer Networks,2016,108(10):97-107.

[4] Wu Yue, Du Yajun, Li Xianrong, et al. Exploring the spiral of silence in adjustable social networks[J]. International Journal of Modern Physics C,2015,26(11):1550125.

[5] Zhou Cangqi, Zhao Qianchuan, Lu Wenbo. Impact of repeated exposures on information spreading in social networks[J]. PLoS One, 2015,10(10):e0140556.

[6] Qiu Xiaoyan, Zhao Laijun, Wang Jiajia, et al. Effects of time-dependent diffusion behaviors on the rumor spreading in social networks[J]. Physics Letters A,2016,380(24):2054-2063.

[7] Fan Pengyi, Li Pei, Jiang Zhihong, et al. Measurement and analysis of topology and information propagation on Sina-microblog[C]//Proc of IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics. Piscataway,NJ:IEEE Press,2011:396-401.

[8] Jackson M O. Games on networks[J]. Handbook of Game Theory with Economic Applications,2014,4(1):95-163.

[9] Kramer A D, Guillory J E, Hancock J T. Experimental evidence of massive-scale emotional contagion through social networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2014,111(24):8788-8790.

[10] Tang Liyang, Ni Zhiwei. Emerging opinion leaders in crowd unfollow crisis: a case study of mobile brands in Twitter[J]. Formal Pattern Analysis & Applications,2016,19(3):1-13.

[11] 韩少春. 社交网络信息传播特征及数据研究[D]. 北京:北京交通大学,2016.

CPLEX 难以在一定时间内求得较优解,而 CS 算法能够快速求得较优解且求解效果优于其他启发式搜索算法。

从表 5~7 可以看出,ICS 在不同规模的案例集中,对于 OPT 部分案例的求解在 CPU 和 dev 上都比原 CS 算法更优。在 Job30 的 OPT 数据集中,ICS 算法在运行时间上平均每案例减少 0.32 s,dev 值降低 0.000 5。对于 FEA、UNK 部分案例,虽然在求解时间上略有牺牲,但是 ICS 算法在 dev 值方面分别降低了 0.005 2 和 0.031 4,且在 SolveRate 求解率方面提高了 0.007 8,因此可以得出 ICS 算法在总体的求解性能和结果上优势明显。

表 5 Job10 案例 CS 与 ICS 求解结果

案例子集	算法	CPU/s	SolveRate	dev
OPT	CS	3.11	1	0.264 7
	ICS	2.93	1	0.264 7
FEA	CS	101.7	1	0.271 4
	ICS	110.9	1	0.219 8
UNK	CS	0	0	0
	ICS	0	0	0

表 6 Job20 案例 CS 与 ICS 求解结果

案例子集	算法	CPU/s	SolveRate	dev
OPT	CS	4.65	1	0.026 1
	ICS	4.32	1	0.021 5
FEA	CS	212.3	1	0.161 2
	ICS	218.9	1	0.142 7
UNK	CS	193.3	0.95	0.442 6
	ICS	196.5	0.966 7	0.398 1

表 7 Job30 案例 CS 与 ICS 求解结果

案例子集	算法	CPU/s	SolveRate	dev
OPT	CS	5.88	1	0.003 1
	ICS	5.56	1	0.002 6
FEA	CS	220.9	1	0.017 7
	ICS	230.4	1	0.012 5
UNK	CS	274.8	0.965 5	0.216 8
	ICS	281.2	0.973 3	0.185 4

4 结束语

本文针对 MS-RCPSP/GPRs 问题的特点,采用文献[1]中所提方法对问题进行了转换,并提出了采用布谷鸟搜索算法求

解该类问题;同时为克服 CS 算法后期收敛慢的缺点引入 Powell 局部搜索策略。实验结果证明本文提出的 ICS 算法是一种求解 MS-RCPSP/GPRs 问题的有效方法,对于解决实际应用问题具有重要意义。

下阶段研究工作考虑从以下两方面入手:a)引入技能员工的薪资、技能熟练程度等因素,进一步对模型进行完善;b)实际项目中,单目标优化并不能完全满足企业需求,因此研究工期和成本等的多目标优化问题具有一定理论和实际价值。

参考文献:

- [1] Bartusch M, Mhring R H, Rademacher F J. Scheduling project networks with resource constraints and time windows[J]. *Annals of Operational Research*, 1988, 16(1): 201-240.
- [2] Dhib C, Kooli A, Soukha L A, et al. Lower bounds for the multi-skill project scheduling problem[C]//Proc of the 8th International Workshop on Project Management and Scheduling. Berlin: Springer, 2012: 471-476.
- [3] Montoya C, Bellenguez-Morineau O, Pinson E, et al. Branch-and-price approach for the multi-skill project scheduling problem[J]. *Optimization Letters*, 2014, 8(5): 1721-1734.
- [4] Myszkowski P B, Skowronski M E, et al. Hybrid ant colony optimization in solving multi-skill resource-constrained project scheduling problem[J]. *Soft Computing*, 2015, 19(12): 3599-3619.
- [5] 郭研, 李南, 李兴森. 基于云多目标微粒群算法的多项目调度方法研究[J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(21): 15-20.
- [6] Liao Guangrui, Liu Zhenyuan, Bi Yang. Project scheduling with time window constraints on multi-skill resources[C]//Proc of the 26th Chinese Control and Decision Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2014: 4885-4891.
- [7] 王一帆, 刘士新, 陈迪. 求解多技能人力资源约束的项目调度问题的两阶段算法[J]. *东北大学学报: 自然科学版*, 2014, 35(2): 184-189.
- [8] Wang Yifan, Chen Di, Liu Shixin, et al. An instance generator for project scheduling problems with multi-skilled personnel constraints[C]//Proc of the 24th Chinese Control and Decision Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2012: 3430-3435.
- [9] Yang Xinshe, Deb S. Cuckoo search via Lévy flights[C]//Proc of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 210-214.
- [10] Ballestín F, Barrios A, Valls V. An evolutionary algorithm for the resource-constrained project scheduling problem with minimum and maximum time lags[J]. *Journal of Scheduling*, 2011, 14(4): 391-406.
- [11] Li Haitao, Womer K. Scheduling projects with multi-skilled personnel by a hybrid MILP/CP benders decomposition algorithm[J]. *Journal of Scheduling*, 2009, 12(3): 281-298.
- [12] Suh B, Hong L, Piroli P, et al. Want to be retweeted? Large scale analytics on factors impacting retweet in Twitter network[C]//Proc of IEEE International Conference on Social Computing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010: 177-184.
- [13] Huang Dongxu, Zhou Jing, Yang Feisheng, et al. Understanding retweeting behaviors in Twitter[J]. *Journal of Computational Information Systems*, 2015, 11(13): 4625-4634.
- [14] Zhao Hongyong, Zhu Linhe. Dynamic analysis of a reaction-diffusion rumor propagation model[J]. *International Journal of Bifurcation & Chaos*, 2016, 26(6): 1650101.
- [15] 顾亦然, 夏玲玲. 在线社交网络中谣言的传播与抑制[J]. *物理学报*, 2012, 61(23): 238701.
- [16] Liu Xiongding, Li Tao, Wang Yuanmei, et al. Spreading dynamics of a social information model with overlapping community structures on complex networks[J]. *Open Access Library Journal*, 2016, 3(5): 1-11.
- [17] Liu Hongli, Xie Yun, Hu Haibo, et al. Affinity based information diffusion model in social networks[J]. *International Journal of Modern Physics C*, 2014, 25(5): 1440004.
- [18] 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): 050501.
- [19] Sasaki W, Furukawa Y, Nishiyama Y, et al. SmileWave: sensing and analysis of smile-based emotional contagion over social network: poster abstract[C]//Proc of International Conference on Information Processing in Sensor Networks. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2016: 64-65.
- [20] Ren Donghao, Zhang Xin, Wang Zhenhuang, et al. Weibo events: a crowd sourcing weibo visual analytic system[C]//Proc of Pacific Visualization Symposium. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2014: 330-334.
- [21] 费斯汀格. 认知失调理论[M]. 郑全全, 译. 浙江: 浙江教育出版社, 1999.
- [22] CML. UCI microblogPCU 数据库[EB/OL]. [2016-08-21]. <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/microblogPCU>.

(上接第 1303 页)