

媒体介入下的谣言传播模型及其控制策略

梁新媛, 万佑红

(南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京 210023)

摘要: 考虑社交网络中并不是所有用户一接触谣言就会传播, 并结合媒体澄清对谣言传播的影响, 提出一种新的谣言传播模型。首先建立该谣言传播模型的动力学演化方程, 并分析了媒体介入对谣言传播最终规模的影响; 接着在收集的 Facebook 数据集构成的网络中进行模型仿真实验, 发现媒体公信力越高、越早的对谣言进行澄清, 能够有效避免谣言爆发, 缩减谣言生存周期; 最后提出谣言传播的局域控制策略, 通过对传播节点周围的一定步数内的节点实施控制, 并结合控制节点比例定义性能指标, 寻找出最优控制步数, 从而缩小谣言传播最终规模。仿真结果表明施加局域控制能够一定程度的缩减社交网络中的谣言传播最终规模。

关键词: 社交网络; 谣言传播; 媒体介入; 局域控制

中图分类号: TP311; TP393.07; N94 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-5439(2017)01-0120-07

Rumor spreading model and control strategy considering Media intervention

LIANG Xinyuan, WAN Youhong

(College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunication, Nanjing 210023, China)

Abstract: Considering that not all users will spread the rumor exposed to the rumor in social network, combining with the impact of the media clarification on rumor spreading, a new rumor spreading model is presented. Firstly, the dynamical evolution equations of the new rumor spreading model are established. After that, the new rumor spreading model is analyzed in face book network. It is found that the sooner the media clarified the rumor, the higher the credibility of the media, the smaller possibility of rumor boom in a short time. Finally, a local area control strategy is proposed on rumor spreading by controlling the nodes within a certain distance around the spreading nodes to narrow the scale of rumor spreading. A performance indicator is defined to find the best control distance by simulation analysis. Simulation results show that, by choosing the path length of the right node, the rumor spreading in social networks can be controlled.

Keywords: social network; rumor spreading; media intervention; local control

谣言传播自古以来就存在, 一直伴随着人类文明的发展, 在过去谣言主要依靠人们口耳相传, 但是随着互联网的高速发展以及 Web2.0 时代的到来, 人们可以在网络上传播消息、表达观点, 在社交网络上以转发某条未经考究的消息等形式来表达对消息

的兴趣, 这为谣言传播提供了更有效、低成本的支持。在特定时期, 谣言传播会对政治、人们切身利益、社会稳定产生负面影响。因此研究社交网络中谣言传播模型有助于更好地掌握谣言传播机理和规律, 寻找出有效的谣言传播控制策略, 最大程度地降

收稿日期: 2016-06-09; 修回日期: 2016-11-25 本刊网址: <http://nyzr.njupt.edu.cn>

基金项目: 国家自然科学基金(61374180)资助项目

通讯作者: 万佑红 电话: 13951658956 E-mail: wanyouhongnj@163.com

低谣言给社会带来的危害。

谣言在人际关系网络中的散布与病毒传播和扩散很相似^[1]。Zanette 研究了谣言在小世界网络中的传播情况,将人群分为谣言易染(没有听过谣言)、感染(听到谣言)、免疫(对该谣言不再相信)3种状态,提出经典的 SIR 传播模型。

基于实际的谣言传播过程的复杂性,许多学者不再将人群简单的划分为3类,引入了更多的状态使得传播模型更符合实际。文献[2]提出了一种新的基于在线社交网络的谣言传播 SEIR 模型,突破传统的只有3种状态的 SIR 模型,引入了新的潜伏状态 E ,来表示人们在开始接触到谣言时并不一定会立即传播谣言,而更多地是处于犹豫观望状态。Zhao 等^[3]提出了一种在异质网络中考虑遗忘和记忆机制的 SIHR 模型,同样新增加了一种状态——休眠状态 H ,用来表示实际中谣言传播者会在一段时间内短暂遗忘谣言而处于一种休眠状态,但是如果谣言有什么新的走向而想起谣言时又会转变为谣言散布者。

复杂网络的免疫策略主要分为随机免疫、目标免疫和熟人免疫^[4],其中目标免疫是最有效的一种方法,但是需要了解网络的全局信息。许丹等^[5]从复杂网络的节点路径长度范围的角度来研究病毒传播的局域控制,在对网络全局信息未知的情况下,利用被感染节点周围的局部信息,控制被感染节点周围的部分节点,从而达到控制病毒在整个网络大范围传播的目的。目前谣言控制仍然以全局控制为主^[6]。

本文考虑到真实社交网络平台上网络媒体澄清谣言会对谣言传播产生影响,并在经典 SIR 模型的基础上引入一种新的状态,建立一种更加切合实际的谣言传播模型。基于真实 Facebook 数据构建的网络图对模型进行仿真并分析谣言澄清时间以及媒体公信力对谣言传播过程的影响。最后对谣言传播实施局域控制,寻找最优控制步数,以最少的控制成本获得最好的控制效果。

1 传播模型的建立与分析

1.1 ISMR 传播模型

在微博、Facebook、人人网等社交网络平台,用户会在主页浏览到关注者发布的新鲜事。如今越来越多的媒体也选择在社交平台注册公众账号^[7],而且粉丝较多,因此在研究谣言传播模型时应考虑媒体的介入。现假设一种谣言正在网络上传播,会有

一定比例的用户浏览到谣言,相当于接触到了谣言传播者^[8],看到谣言的用户中部分会传播了谣言而转变为谣言传播者,部分则暂时没有传播谣言,而成为沉默者,但是在看到谣言的次数增加后,其中又会有一部分选择传播谣言,也存在一部分用户由于长时间未接触到谣言而渐渐遗忘谣言,对谣言失去兴趣。

本文将社交网络中的节点分为健康节点(I)、传播节点(S)、沉默节点(M)以及免疫节点(R)这4类。其中健康节点 I 表示未接触过谣言的健康人群,传播节点 S 表示接触了谣言并传播谣言的人群,沉默节点 M 表示接触了谣言但是并不传播谣言,并有潜力转化为传播节点的人群,免疫节点 R 表示对谣言已经失去兴趣不再关注的人群。

根据德国传播学家伊丽莎白的谣言具有“沉默的螺旋”^[9],人们在判断时会考虑自身意见是否与大多数人站在一边,清醒的少数人会自动选择隐匿自己的观点,逐渐对谣言失去兴趣不再关注。因此,在未引入媒体澄清的谣言传播过程中,处于传播状态的节点会逐渐对谣言失去兴趣转变为免疫节点。本文为了研究媒体澄清对谣言传播过程的影响,在引入媒体澄清谣言后,部分传播节点由于对媒体半信半疑虽然不再传播但仍在关注谣言并有潜力再次转化为传播节点,从而转变为沉默节点;部分传播节点相信媒体澄清消息而对谣言失去兴趣逐渐转变为免疫节点。

建立如图1所示的 ISMR 谣言传播模型,图中的节点在健康状态 I 、传播状态 S 、沉默状态 M 和免疫状态 R 之间转变遵循以下规则:

(1) 如果健康节点与传播节点接触(即接触到谣言),那么在每个时间步健康节点会以 α 概率选择转发谣言从而转变为传播节点,以 β 概率选择本次忽略谣言从而成为沉默节点,其中 $\alpha + \beta = 1$;

(2) 传播节点在接触到其他传播节点、沉默节点或免疫节点的情况下,在每个时间步以 p_3 概率成为免疫节点,还有部分传播节点由于长时间未接触到谣言,会以 f (遗忘因子)^[10] 概率成为免疫节点;

(3) 此外,在媒体澄清谣言后,部分传播者会对谣言失去兴趣,不再关注,因此在每个时间步以 p_1 概率成为免疫节点,也有部分传播者对谣言仍然关注,只是不再传播,以 p_2 的概率成为沉默节点,剩余概率 $(1 - f - p_3 - p_1 - p_2)$ 节点仍然保持原来的传播状态;

(4) 沉默节点在接触到谣言达到一定次数后,

在每个时间步以 p_4 概率转化为传播节点,若沉默节点长时间未接触到谣言,则会以 f (遗忘因子) 概率转化成为免疫节点,剩余概率 $(1 - p_4 - f)$ 节点仍然保持原来的沉默状态。

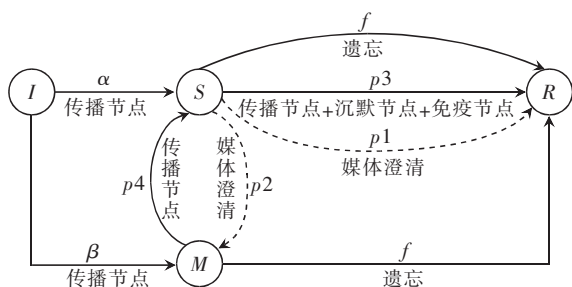


图1 ISMR 传播模型状态图

将 t 时刻社交网络中的用户比例分为健康者 $I(t)$ 、传播者 $S(t)$ 、沉默者 $M(t)$ 以及免疫者 $R(t)$, 且 $I(t) + S(t) + M(t) + R(t) = 1$ 。则 ISMR 模型可以用下列式(1)方程组来描述:

$$\frac{dI(t)}{dt} = -k \cdot I(t) \cdot S(t) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} = & \alpha \cdot k \cdot I(t) \cdot S(t) - (p_1 + p_2 + f) \cdot \\ & S(t) - p_3 \cdot k \cdot S(t) \cdot (S(t) + R(t) + \\ & M(t)) + p_4 \cdot S(t) \cdot M(t) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{dM(t)}{dt} = & \beta \cdot k \cdot I(t) \cdot S(t) + p_2 \cdot S(t) - \\ & f \cdot M(t) - p_4 \cdot k \cdot S(t) \cdot M(t) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{dR(t)}{dt} = & (p_1 + f) \cdot S(t) + f \cdot M(t) + p_3 \cdot k \cdot S(t) \cdot \\ & (S(t) + R(t) + M(t)) \end{aligned} \quad (4)$$

其中, k 表示网络的平均度, p_1 表示媒体发布的信息被网民完全相信的概率, 代表着媒体公信力, p_2 表示对于媒体发布的信息, 网民半信半疑, 并非完全相信的概率, $(1 - p_1 - p_2)$ 则表示对媒体发布信息完全不相信的概率, 其中 $p_1, p_2 \in [0, 1]$ 。影响澄清谣言的媒体的公信力的因素可能包括媒体的可信度、谣言澄清声明的清晰度等^[1]。

此外, 只有当传播谣言节点比例达到一定值后才会引起媒体关注, 媒体才会进一步澄清, 因此, 本文设定当整个网络中传播节点比例即 $S(t)$ 达到 20% 时, 才会引起媒体关注。

1.2 模型分析

为了分析 ISMR 传播模型的谣言传播最终规模, 假设谣言传播初始时, 只存在一个传播节点, 其余节点均为健康节点^[2], 即 $I(0) = (N - 1)/N \approx 1$,

$S(0) = 1/N \approx 0$, $M(0) = 0$, $R(0) = 0$ 。在谣言传播的过程中, 传播节点数量和沉默节点数量开始时会上升, 接着衰减, 随着谣言结束而趋向于 0, 至此一个谣言传播周期结束, 谣言传播达到一个稳态, 此时网络中只存在免疫节点和健康节点, 那么谣言传播的最终规模^[3]为 $R(\infty) = 1 - I(\infty) - S(\infty) - M(\infty) = 1 - I(\infty)$ 。

对式(1)直接进行积分求解, 可以得到健康节点比例随时间变化情况为:

$$I(t) = e^{-k\phi(t)} \quad (5)$$

其中, $\phi(t) = \int_0^t S(t') dt'$ 。相应的谣言传播最终规模可表示为:

$$R(\infty) = 1 - I(\infty) = 1 - e^{-k\phi_\infty} \quad (6)$$

为了进一步分析谣言传播最终规模 $R(\infty)$, 需要求解出 ϕ_∞ 的表达式。接着对式(2)进行积分运算可得:

$$\begin{aligned} \frac{d\phi(t)}{dt} = & (\alpha + p_3 \cdot k) (1 - e^{-k\phi(t)}) - \\ & (p_1 + p_2 + f + p_3 \cdot k) \phi(t) + \\ & p_4 \cdot k \int_0^t S(t') M(t') dt' \end{aligned} \quad (7)$$

同理再对式(3)进行积分得:

$$\begin{aligned} M(t) = & \beta (1 - e^{-k\phi(t)}) + p_2 \cdot \phi(t) - f \int_0^t M(t') dt' - \\ & p_4 \cdot k \int_0^t S(t') M(t') dt' \end{aligned} \quad (8)$$

令 $\varphi(t) = \int_0^t M(t') dt'$, 则式(8)可表示为:

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi(t)}{dt} = & \beta (1 - e^{-k\phi(t)}) + p_2 \cdot \phi(t) - f \cdot \varphi(t) - \\ & p_4 \cdot k \int_0^t S(t') M(t') dt' \end{aligned} \quad (9)$$

且当 $t \rightarrow \infty$ 时, $\frac{d\phi(t)}{dt} = 0$, $\frac{d\varphi(t)}{dt} = 0$, 因此由式(7)

和式(9)可推导出:

$$\begin{aligned} & (\alpha + p_3 \cdot k) (1 - e^{-k\phi_\infty}) - (p_1 + p_2 + f + p_3 \cdot k) \phi_\infty + \\ & p_4 \cdot k \int_0^\infty S(t') M(t') dt' = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & \beta (1 - e^{-k\phi_\infty}) + p_2 \cdot \phi_\infty - f \cdot \varphi_\infty - \\ & p_4 \cdot k \int_0^\infty S(t') M(t') dt' = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

其中, $\phi_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} \phi(t)$, $\varphi_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} \varphi(t)$, 再结合式(10)

和式(11)可以求解出 ϕ_∞ 的等式表达式为:

$$\begin{aligned} & (1 + p_3 \cdot k) (1 - e^{-k\phi_\infty}) - (p_1 + f + p_3 \cdot k) \phi_\infty - \\ & f \cdot \varphi_\infty = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

将式(12)进行泰勒展开则可以表示为:

$$-\frac{1}{2}(1+p_3 \cdot k)k^2\phi_\infty^2 + [p_3 \cdot k^2 + (1-p_3)k - p_1 - f]\phi_\infty - f \cdot \phi_\infty + O(\phi_\infty^3) = 0 \quad (13)$$

则求解方程(13)可得:

$$\phi_\infty = \frac{[p_3 \cdot k^2 + (1-p_3)k - p_1 - f] \mp C}{p_3 \cdot k^3 + k^2} \quad (14)$$

其中,

$$C = \sqrt{[p_3 \cdot k^2 + (1-p_3)k - p_1 - f]^2 - 2f(1+p_3 \cdot k)k^2\phi_\infty}$$

根据 ϕ_∞ 的解和式(6), 谣言传播的最终规模 $R(\infty)$ 可以表示为:

$$R(\infty) = 1 - e^{-k\phi_\infty} = 1 - e^{-\frac{[p_3 \cdot k^2 + (1-p_3)k - p_1 - f] \mp C}{p_3 \cdot k^2 + k}} \quad (15)$$

由于 $0 < p_1 < 1$, 而网络的平均度 k^2 远大于 p_1 , 由此结合式(15)可知, 媒体的公信力 p_1 大小对谣言传播的最终规模大小的影响很小, 但是下文将进一步分析媒体公信力 p_1 大小在谣言传播过程中的影响。

2 基于 Facebook 网络的模型仿真分析

由于 Facebook 用户量的庞大, 便于分析^[4], 本文选取其中 762 个 Facebook 用户关系数据构成作为谣言传播的底图。通过对 762 个用户数据进行分析, 得到该 Facebook 网络图的平均聚类系数为 0.409 1, 说明网络呈现了较高聚类特性, 符合“人以类聚, 物以群分”^[5] 的社交网络特征。该网络的度分布如图 2 所示, 可见其符合幂律分布, 大多数用户的朋友数都少于 200, 而少数用户具有很多的朋友。因此该数据集较好地体现了真实社交网络的特性, 能够作为仿真谣言传播过程的底图。

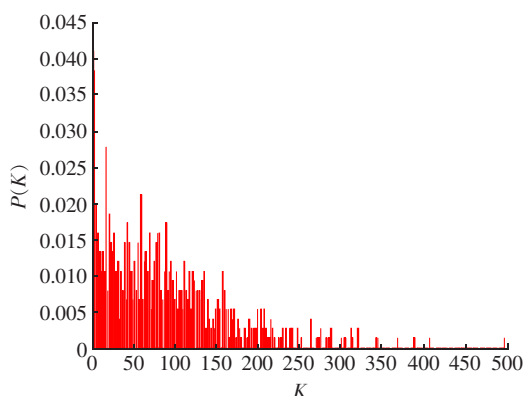


图2 Facebook 网络的度分布图

以 Facebook 数据集构成的网络图作为仿真底图, 初始时刻随机选择一个传播节点, 剩余节点均为健康节点, 选取 $\alpha = 0.50$, $\beta = 0.50$, $p_3 = 0.10$, $p_4 = 0.40$, 遗忘概率 $f = 0.05$ 。

为了分析媒体澄清谣言对谣言传播的影响, 首

先讨论不同的媒体澄清谣言的时间对传播过程的影响。引入谣言澄清时间因子 T , 表示媒体在 T 时刻发布相关谣言澄清消息。在媒体未介入时进行 ISMR 模型的仿真实验, 如图 3 所示, 在 $t = 4$ 时传播节点比例 $S(t)$ 达到 20%, 此时谣言引起媒体关注, 因此谣言澄清因子 $T > 4$ 。

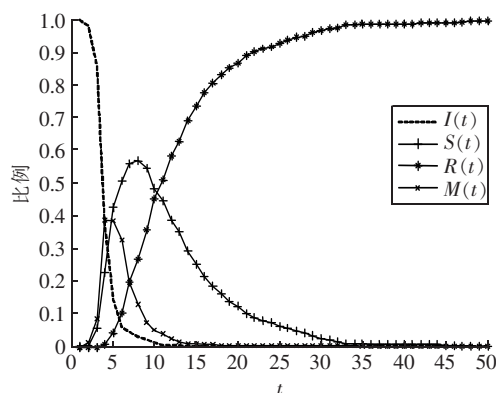


图3 媒体未介入下的谣言传播过程

在 $t < T$ 的情况下由于未做出谣言澄清, 此时 $p_1 = p_2 = 0$, 在 $t \geq T$ 之后, 需要设定媒体公信力值。通过查阅资料《星岛环球网》2008 年 9 月份的一项调查显示, 完全不相信中国媒体的占 16%^[6], 因此在 $t \geq T$ 之后, $p_1 + p_2 = 1 - 16\%$, 即 $p_1, p_2 \in [0, 0.84]$; 并根据“2015 中国信用小康指数”之“媒体公信力调查”结果显示, 网络媒体中公信力最高的为凤凰网 (34.2%)^[7], 不妨将媒体公信力取为 $p_1 = 0.342$, 对媒体消息不完全相信的概率 $p_2 = 0.498$ 。

由图 4 可知, 在媒体澄清谣言后, 传播节点比例衰减速度明显加快, 并且在 $t = 7$ 之前澄清谣言, 传播节点的峰值有所降低。由图 5 可知, 在媒体澄清谣言后, 并没有缩减谣言的最终规模。说明当媒体在社交网络平台上澄清谣言后, 会使得部分未接触到谣言的用户知晓了谣言的存在, 并不能有效缩减谣言的最终规模。

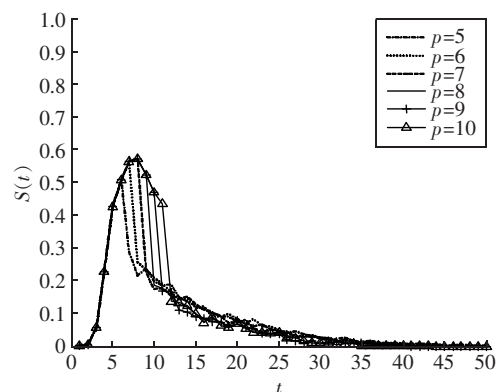
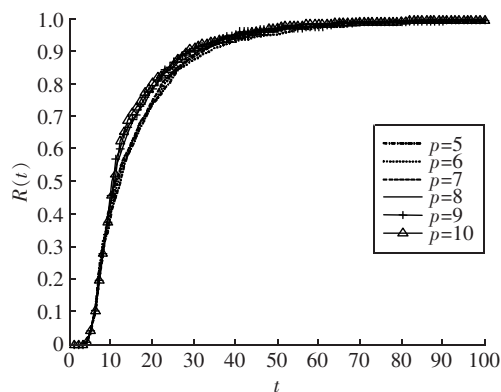
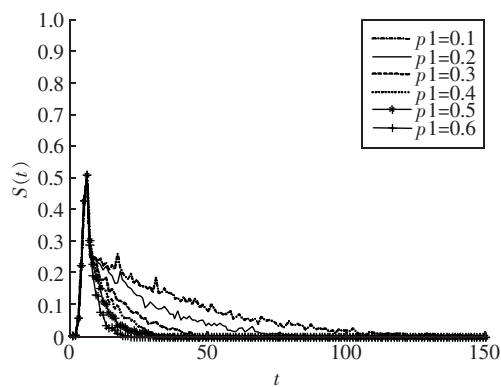
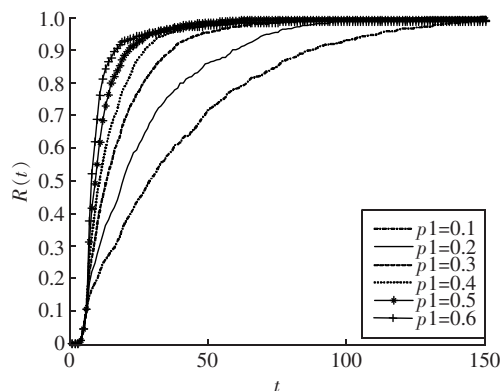


图4 不同谣言澄清时间下传播节点 $S(t)$ 的变化

图5 不同谣言澄清时间下免疫节点 $R(t)$ 的变化

接着分析澄清谣言的媒体的公信力的大小对传播过程的影响。根据上文选择谣言澄清时间为 $T = 5$ (媒体及时澄清谣言), 且 $p_1, p_2 \in [0, 0.84]$, 进行仿真实验。如图6所示, 媒体公信力 p_1 越大, 谣言传播过程中传播节点衰减速度越快, 单位时间内传播谣言的节点数减少的越快, 缩小了谣言影响范围。由图7可知, 改变媒体公信力 p_1 的大小并不能有效缩减谣言传播的最终规模, 这也与上文式(15)对谣言传播最终规模的分析相符合; 但是媒体公信力 p_1 越大, 免疫节点的增长速率越大, 说明单位时间内转化为免疫节点的数量增加的速度加快, 一定程度上缩减了谣言影响时间, 加快了谣言的衰灭。

图6 不同媒体公信力下传播节点 $S(t)$ 的变化图7 不同媒体公信力下免疫节点 $R(t)$ 的变化

综上, 可以得出结论, 在谣言传播范围达到一定值, 引起媒体关注后, 媒体公信力越高、越早的对谣言进行证实澄清, 虽然不能缩减谣言传播的最终规模, 但是仍然能够有效避免谣言爆发, 缩减谣言生存周期。

因此, 网络媒体应当注重自身公信力的建立, 在谣言传播引起关注后, 及时的进行谣言澄清, 才能有效抑制谣言短时间爆发带来严重影响。

3 谣言传播控制策略

3.1 局域控制理论

本文从复杂网络的节点路径长度范围的角度来考虑谣言传播的局域范围控制, 通过对传播节点周围的一定距离范围内的健康节点和沉默节点进行控制, 使得单位时间内转化为传播节点的数量降低, 从而达到缩小谣言传播最终规模的目的。

考虑无向无权网络中, 每条边的距离为 1, 节点 i 和节点 j 之间的最短路径长度为 d_{ij} , 表示从节点 i 出发, 至少经过 d 步到达节点 j 。用步数 d 来表示网络被控制的范围, 在控制范围内, 易染节点(包括健康节点和沉默节点)的感染概率缩减为 0.01, 表明在控制范围内的节点得到了有效的控制。即当 $d_{ij} < d$ 时, $\alpha = \beta = p_4 = 0.01$ 其中 d_{ij} 表示节点 i 和 j 之间的最短距离。

对社交网络上谣言传播的控制效果的鉴定除了考虑谣言最终规模的大小, 还应进一步考虑控制节点比例^[9]。因此, 本文定义如式(16)所示的性能指标 J :

$$J = \lambda \cdot n + \eta \cdot r(\infty) \quad (16)$$

其中, n 表示控制节点数比例, $r(\infty)$ 为谣言传播最终规模; $\lambda + \eta = 1$, 且 λ, η 的取值取决于用户对控制节点数比例和谣言传播最终规模重要性的判断。 J 的值越小, 说明控制节点数比例和谣言传播规模越小, 谣言控制的性价比越高。

对谣言传播施加局域控制后, 在每个时间步获取当前网络中传播节点与剩余健康节点之间的最短路径的最大值 $d + \max$, 因此最优控制步数 $d \in [1, d_{\max}]$, 且 d 为整数, 通过衡量性能指标 J , 能够寻找出一个最优的控制步数 d 。

3.2 仿真分析

鉴于实际社交网络规模的庞大, 本文选取 $\lambda =$

65%, $\eta = 35\%$ 。根据上文探讨媒体介入对谣言传播过程的影响,现假设谣言爆发引起媒体关注后,媒体第一时间采取措施,即取谣言澄清时间 $T = 5$,并结合上文媒体公信力取为 $p_1 = 0.342$ (凤凰网 34.2%),对媒体消息半信半疑的概率 $p_2 = 0.498$ 。可以得到如图 8 所示的谣言传播过程中各个节点比例变化情况。

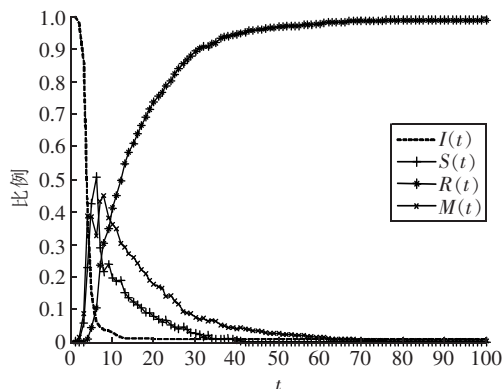


图 8 ISMR 模型在 facebook 网络中传播过程

在媒体澄清谣言的同时 ($T = 5$), 对网络施加局域控制, 得到的最优控制步数 $d = 1$, 此时的性能指标为 $J = 0.37$, 所需控制节点数比例为 7.52%, 谣言传播的最终控制规模缩减为 91.73%。

将 $d = 1$ 时的谣言传播最终规模与未施加局域控制时的最终规模对比, 如图 9 所示, 在实施局域控制后, 一定程度的缩减了谣言传播的最终规模。

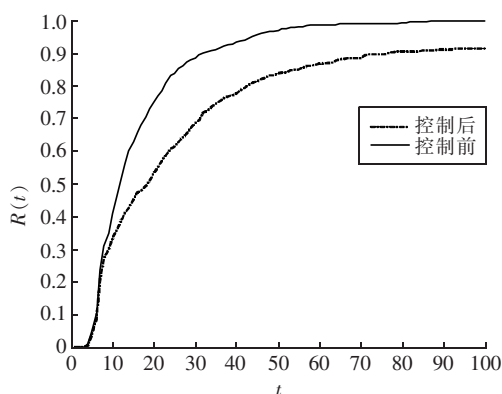


图 9 控制前后谣言传播最终规模

最后, 在 $d = 1$ 时进行谣言传播过程仿真, 如图 10 所示, 与图 8 对比可以发现在施加局域控制后, 传播节点衰减速度加快, 单位时间内传播节点的数量有效减少; 健康节点衰减速度减缓, 稳定后, 网络中仍有 8% 左右用户未接触到谣言, 说明施加局域控制能够一定程度的缩减社交网络上谣言传播的影响范围。

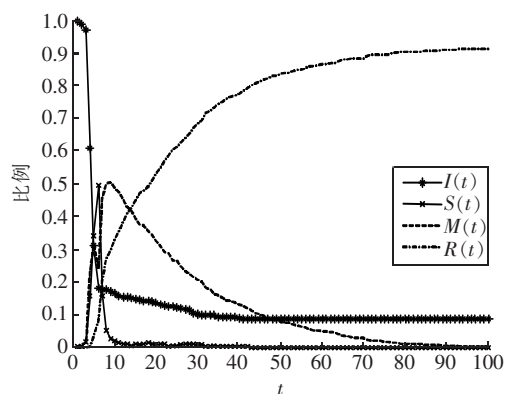


图 10 施加局域控制后谣言传播过程

4 结束语

在社交网络中, 当一个谣言开始扩散传播时, 并非所有用户第一次看到谣言就会选择分享谣言, 部分用户处于一种沉默状态, 当看到谣言次数增加后又会选择传播谣言, 结合社交网络中媒体澄清谣言对谣言传播的影响, 建立更加符合实际的 ISMR 谣言传播模型, 并通过仿真, 分析了媒体做出谣言澄清的时间以及媒体的公信力对谣言传播的影响, 在谣言大范围爆发前澄清并且媒体公信力较高时虽不能缩减谣言传播的最终规模, 但能一定程度抑制谣言爆发, 提醒广大媒体要注重自身公信力的建立。最后, 本文从复杂网络的节点路径长度范围的角度来考虑谣言传播的局域控制, 对传播节点周围的一定距离范围内的节点进行局域控制, 并综合考虑控制节点数比例和谣言传播最终规模, 寻找出最优控制步数, 在 face book 网络中 ISMR 谣言传播模型存在一个最优控制步数, 此时被控制节点数占整个网络节点的比例较低, 也能够一定程度缩小谣言最终规模, 可行性较高。

参考文献:

- [1] ZHAO Laijun, WANG Qin, CHENG Jingjing, et al. Rumor spreading model with considering of forgetting mechanism: a case of online blogging [J]. Physica A, 2011, 390: 2619 - 2625.
- [2] 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.
- GU Yiran, XIA Lingling. The spread and suppression of rumors in online networks [J]. Physic A, 2012, 61(23): 238701. (in Chinese)
- [3] ZHAO Laijun, QIU Xiaoyan, WANG Xiaoli, et al. Rumor spreading model considering forgetting and remembering mechanisms in inhomogeneous network [J]. Physica A, 2013, 392: 987 - 994.

- [4] 汪小帆,李翔,陈关荣. 复杂网络理论及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社,2006:4.
WANG Xiaofan, LI Xiang, CHEN Guanrong. Complex network theory and application [M]. Beijing: Tsinghua University Press,2006:4. (in Chinese)
- [5] 许丹,李翔,汪小帆. 复杂网络病毒传播的局域控制研究 [J]. 物理学报,2007,56(3):131405.
XU Dan, LI Xiang, WANG Xiaofan. An investigation on local area control of virus spreading in complex networks [J]. Physic A,2007,56(3):131405. (in Chinese)
- [6] 汪小帆,李翔,陈关荣. 网络科学导论 [M]. 北京: 高等教育出版社,2012:4.
WANG Xiaofan, LI Xiang, CHEN Guanrong. Network Science: an Introduction [M]. Beijing: Higher Education Press,2012:4. (in Chinese)
- [7] ZHAO L J, XIE W L, GAO H, et al. A rumor spreading model with variable forgetting rate [J]. Physica A,2013,392:6146-6154.
- [8] 熊熙,胡勇. 基于社交网络的观点传播动力学研究 [J]. 物理学报,2012,61(15):150509.
XIONG Xi, HU Yong. Research on the propagation dynamics of views based on social networks [J]. Physic A,2012,61(15):150509. (in Chinese)
- [9] HUO Liang'an, LIN Tingting, FAN Chongjun, et al. Optimal control of a rumor propagation model with latent period in emergency event [J]. Advances in Difference Equations,2015(1):1-19.
- [10] XIA Lingling, JIANG Guoping, SONG Bo, et al. Rumor Spreading Model Considering the Importance and Fuzziness of Information [C] //IEEE International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing. 2014:161-166.
- [11] WANG Zhonglei, WEN Tianyu, WU Weimin. Modeling and simulation of rumor propagation in social networks based on Petri net theory [C] //Proceeding of IEEE 12th International Conference on Networking, Sensing and Control. 2015:492-497.
- [12] ZHAO Laijun, WANG Xiaoli, QIU Xiaoyan, et al. A model for the spreading of rumors in Barrat-Barthelemy-Vespignani(BBV) networks [J]. Physica A,2013,392:5542-5551.
- [13] 任立肖,檀柏红,张亮. 基于复杂网络的网络舆情传播模型综述 [J]. 洛阳师范学院学报,2014,33(8):113-117.
REN Lixiao, TAN Baihong, ZHANG Liang. A review on the communicative model of internet public opinion based on complex network [J]. Journal of Luoyang Normal University,2014,33(8):113-117. (in Chinese)
- [14] 韩忠明,张梦,李梦琪,等. 有效的社交媒体热点话题传播模型研究 [J]. 南京大学学报(自然科学版),2015,51(1):187-196.
HAN Zhongming, ZHANG Meng, LI Mengqi, et al. Efficiently modeling information propagation of hot topics in social Medias [J]. Journal of Nanjing University (Natural Science),2015,51(1):187-196. (in Chinese)
- [15] 吕天阳,朴秀峰,谢文艳,等. 基于传播免疫的复杂网络可控性研究 [J]. 物理学报,2012,61(17):170512.
LÜ Tianyang, PIAO Xiufeng, XIE Wenyan, et al. Controllability of complex networks based on propagation immunization [J]. Physic A,2016,61(17):170512. (in Chinese)
- [16] WEN Sheng, CHEN Chao, XIANG Yang, et al. A Sword with Two Edges: propagation studies on both positive and negative information in online social networks [J]. IEEE Transactions on Computers,2015,64(3):640-653.
- [17] 孟繁荣. 社交网络的谣言传播模型研究 [D]. 南京: 南京邮电大学,2013.
MENG Fanrong. Research on rumor spreading model on social network [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications,2013. (in Chinese)
- [18] 周涛,张子柯,陈关荣,等. 复杂网络研究的机遇与挑战 [J]. 电子科技大学学报,2014,43(1):1-5.
ZHOU Tao, ZHANG Zike, CHEN Guanrong, et al. Opportunities and challenges of complex network research [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology,2014,43(1):1-5. (in Chinese)
- [19] 王辉,韩江洪,邓林,等. 基于移动社交网络的谣言传播动力学研究 [J]. 物理学报,2013,62(11):110505.
WANG Hui, HAN Jianghong, DENG Lin, et al. Research on the dynamics of rumor spreading based on mobile social networks [J]. Physic A,2013,62(11):110505. (in Chinese)

作者简介:



梁新媛(1992-),女,江苏仪征人。南京邮电大学自动化学院硕士研究生。基于复杂网络的谣言传播模型和控制策略研究。