物理学报 Acta Physica Sinica
Chinese Physical Society
Institute of Physics, CAS

考虑谣言清除过程的网络谣言传播与抑制

万贻平　张东戈　任清辉

Propagation and inhibition of online rumor with considering rumor elimination process

Wan Yi-Ping　Zhang Dong-Ge　Ren Qing-Hui

引用信息 Citation: Acta Physica Sinica, 64, 240501 (2015)　DOI: 10.7498/aps.64.240501
在线阅读 View online: http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.240501
当期内容 View table of contents: http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I24

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

一种基于用户相对权重的在线社交网络信息传播模型
An information spreading model based on relative weight in social network
物理学报.2015, 64(5): 050501　http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.050501

推荐重要节点部署防御策略的优化模型
Recommendation of important nodes in deployment optimization model of defense strategy
物理学报.2015, 64(5): 050502　http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.050502

基于平均场理论的微博传播网络模型
Microblog propagation network model based on mean-field theory
物理学报.2014, 63(24): 240501　http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.240501

带有层级结构的复杂网络级联失效模型
A cascading failure model of complex network with hierarchy structure
物理学报.2014, 63(22): 220501　http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.220501

Frenkel-Kontorova 模型中基底势振动的影响
Effect of the oscillation of substrate potential in driven Frenkel-Kontorova chains
物理学报.2014, 63(22): 220502　http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.220502

考虑谣言清除过程的网络谣言传播与抑制*

万贻平 张东戈† 任清辉

(解放军理工大学指挥信息系统学院, 南京 210007)

(2015 年 8 月 17 日收到; 2015 年 9 月 10 日收到修改稿)

网络谣言传播是网络传播动力学的重要课题之一. 网络谣言传播常常同时混杂谣言感染和谣言清除两个过程, 对这一现象的分析可以帮助我们更好地认识社会网络中的信息传播. 本文在 susceptible-infective-refractory 谣言传播模型的基础上增加谣言清除者, 定义了谣言感染和谣言清除的规则, 提出 SIERsEs 谣言传播模型, 建立了模型的平均场方程, 从理论上分析了谣言传播的稳态, 并求解出谣言传播的感染阈值和清除阈值. 仿真计算分析了感染和清除过程同时作用时, 感染率、清除率和网络平均度对谣言传播的影响. 研究发现, 网络平均度过小或过大, 谣言传播稳定后的影响力都将处于低水平. 分析了目标免疫和熟人免疫等传统免疫策略的不足, 针对网络环境下谣言抑制的特点, 提出主动免疫和被动免疫两种网络谣言免疫策略, 并研究了传播者遗忘率、清除者遗忘率和开始免疫时间参数对这两种谣言免疫策略有效性的影响. 需要重视的是: 研究发现一些直观看来有效的谣言抑制措施反而可能提高谣言的影响力. 研究结果有助于深化对于网络传播动力学的理解, 同时为发展有效的网络谣言抑制策略提供新的思路.

关键词: 谣言传播, 谣言清除, 免疫策略

PACS: 05.10.–a, 87.23.Ge, 89.75.Fb **DOI:** 10.7498/aps.64.240501

1 引 言

随着 Facebook、微博和微信等社会网络服务 (social network service, SNS) 的发展, 谣言的传播速度和影响范围得到极大提升与扩张, 谣言所造成的社会危害日益严重. 网络谣言的传播规律成为社会管理领域一个值得重点研究的问题. 揭示网络谣言的传播规律, 寻找有效的谣言抑制策略, 具有重要的理论价值和现实意义.

目前, 网络谣言传播研究主要关注于谣言本身的感染过程, 而对一些案例的研究可以发现, 真实的网络谣言在传播过程中, 常常混杂谣言清除的过程. 比如 2015 年 6 月粤赣高速公路的匝道桥梁坍塌事件发生初期, “桥梁的质量存在问题” 的谣言盛行. 然而, 随着信息的不断披露, 网上出现了 “货车严重超载造成桥梁坍塌” 这种不同的观点, 几天后谣言即自发地得到清除, 舆论发生了反转. 然而, 如何模型化地分析这样一类包含谣言清除过程的谣言传播, 当前的研究还需进一步扩展和深化.

现有的谣言传播模型大都借鉴和采用了传染病动力学的研究成果, 其中 1965 年由 Daley 和 Kendall 提出的 DK 模型 [1] 与 1973 年由 Maki 和 Thompson 提出的 MT 模型 [2] 是早期较为经典的谣言传播模型. 在此基础上, 2001 年开始, Zanette [3,4] 将复杂网络理论应用于谣言传播的研究, 建立了基于小世界网络的谣言传播模型; 2004 年, Moreno 等 [5] 借鉴 SIR (suddeptible-infective-refractory) 传染病模型规范了谣言传播模型中的人群分类, 将人群分为无知者 (ignorant)、谣言传播者 (spreader)、停止传播者 (stifler) 三类. 一些研究者结合具体的网络拓扑结构, 对 SIR 模型进行拓展改进. 2011 年, Xing 等 [6] 提出了一个由多个小世界网络组成的复杂网络中的谣言传播动力学模型; 2012 年, Lu 等 [7] 和 Song 等 [8] 研究了基于无标度网

* 国家自然科学基金 (批准号: 61174198) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: sys_analysis@126.com

© 2015 中国物理学会 Chinese Physical Society

络的传染病传播问题; 2010年, Trpevski 等[9]研究了人群中包含两个谣言的谣言传播模型, 考察了两个谣言传播时的相互影响; 2011年, Zhao等[10]分析了真实在线社交网中的谣言传播, 研究网络平均度和遗忘率等参数对谣言传播的影响; 2012年, 顾亦然和夏玲玲[11]建立了一个基于SNS的谣言传播SEIR模型, 即健康状态-潜伏状态-传播状态和免疫状态模型, 提出并检验了重要熟人谣言免疫策略的有效性; 2014年, 王超等[12]在社交网络的信息传播中引入了遏制机理和遗忘机理; 2014 年, Zan等[13]引入了谣言传播的反击(counterattack)机理, 建立了谣言传播SICR模型, 即易感状态-感染状态-反击状态-免疫状态模型; 2014年, Wang等[14]考虑到人群中的部分公众能够识破谣言, 而不会受到谣言的感染, 建立了谣言传播SIRaRu模型, 即谣言无知者-谣言传播者-停止传播者-识破谣言者模型.

尽管上述研究对谣言的传播理论研究起到了很大的推进作用, 然而, 这些模型缺少对包含谣言清除过程的谣言传播现象的模型化分析. 为此, 本文根据现实世界里确实存在的现象, 引入了谣言清除者(eliminater)和停止清除者(estifler)两个角色, 将SIR谣言传播模型扩展成为SIERsEs谣言传播模型, 定量化研究包含感染和清除过程谣言的传播规律. 本文第2节定义了SIERsEs模型, 并建立了模型的平均场方程; 第3节对谣言感染过程和谣言清除过程进行稳态分析; 第4节通过仿真计算量化分析了感染率、清除率和网络平均度对谣言传播的影响; 第5节提出两种谣言免疫策略, 并研究了不同参数对谣言抑制有效性的影响; 第6节为结论.

2 包含谣言清除者的SIERsEs网络谣言传播模型

很早以前, 学者Allport和Postman[15]就定性地指出, 重要性和模糊性是谣言的重要特征. 其中模糊性体现了公众对引发谣言的事件不够了解, 公众如果接触到谣言信息, 就有可能相信并传播谣言, 而公众如果接触到真相信息, 就将可能不再相信并传播谣言. 研究现实案例容易发现, 现实网络谣言传播中, 不仅存在传播谣言的公众, 还存在传播真相、清除谣言的公众, 因此, 网络谣言的传播也常常同时存在感染和清除过程.

由此, 本文在SIR谣言传播模型的基础上将信息传播者分为谣言传播者和谣言清除者, 将网络中的公众状态分为五类: 无知者(ignorant)、谣言传播者(spreader)、谣言清除者(eliminater)、谣言停止者(rstifler)和清除停止者(estifler), 从而提出一种SIERsEs网络谣言传播模型. 其中, 无知者是指对引发谣言的事件尚不知晓的公众; 谣言传播者是指认同且传播谣言的公众; 谣言清除者是指认同且传播真相的公众; 谣言停止者是指认同谣言但不传播的公众; 清除停止者是指认同真相但不传播的公众.

为清晰问题边界, 现做以下基本假设.

假设1 谣言传播者掌握并传播错误信息, 谣言清除者掌握并传播真相信息.

谣言[16−18]种类繁多, 通常指未经证实的信息. 假设1限定了本文研究的是一类与事实不符的虚假信息类谣言, 属于可以被证伪的谣言.

假设2 谣言清除者有可能改变谣言传播者对引发谣言事件的看法, 从而以一定的概率将谣言传播者转变为谣言清除者.

在这里, 设定真相信息由于更准确、更全面, 相互影响关系更具逻辑性, 因此具有更高的可信度, 从而具备清除谣言的能力. 比如2015年6月粤赣高速公路匝道桥梁坍塌事件所引发的舆论中, 由于谣言信息符合公众从直觉上对事件所做出的想当然的判断, 因此公众在缺乏足够信息的条件下, 容易受到谣言信息的影响, 而当公众获取真相信息之后, 便转变了对事件的看法, 不再相信谣言, 其中一些公众甚至从传播谣言直接转变为传播真相.

假设3 谣言传播者会以一定的概率成为谣言停止者, 谣言清除者会以一定的概率成为清除停止者.

按照公众传播信息的规律可知, 公众传播谣言或传播真相的热度会随时间的增长而逐步消退, 也就是说"'新鲜事'才值得说". 本文假设所有的信息传播者会以一定的概率停止传播信息, 既不再传播谣言, 也不再传播真相.

图1示意的是SIERsEs模型的谣言传播过程, 具体传播规则定义如下.

1) 如果无知者与谣言传播者接触, 则无知者以λ的概率成为谣言传播者, 以ε的概率成为谣言停止者, λ称为谣言的感染率, 其中$\lambda+\varepsilon\leqslant 1$. 从微观细节上看, 一个无知者与一个谣言传播者经过一次接触后, 该无知者可能受谣言传播者影响, 变为谣

言传播者或谣言停止者, 也可能不受影响, 保持原先的无知者状态.

2) 如果无知者与谣言清除者接触, 无知者以θ的概率成为谣言清除者, 以γ的概率成为清除停止者, θ称为谣言的清除率, 其中$\theta+\gamma\leqslant 1$. 即一个无知者与一个谣言清除者接触后, 该无知者可能变为谣言清除者或清除停止者, 也可能保持原先的无知者状态.

3) 如果谣言传播者与谣言清除者接触, 谣言传播者以η的概率成为谣言清除者. 即一个谣言传播者与一个谣言清除者接触后, 该谣言传播者可能受到真相观点的影响, 变为谣言清除者, 也可能保持原先的谣言传播者状态.

4) 谣言传播者以α的概率成为谣言停止者, α称为传播遗忘率; 谣言清除者以β的概率成为清除停止者, β称为清除遗忘率.

5) 如果谣言停止者与谣言清除者接触, 谣言停止者以δ的概率成为清除停止者. 即一个谣言停止者与一个谣言清除者接触后, 该谣言停止者可能受到真相观点的影响, 变为清除停止者, 也可能保持原先的谣言停止者状态.

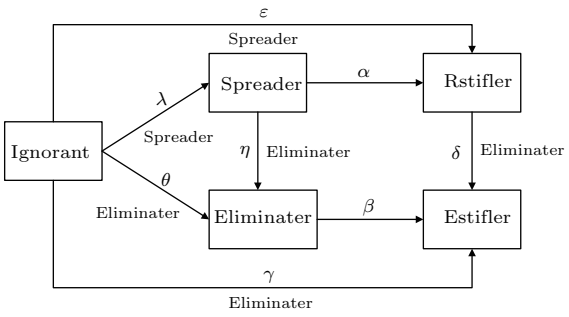

图 1 SIERsEs 谣言传播模型

Fig. 1. SIERsEs rumor spreading model.

用$I(t)$, $S(t)$, $E(t)$, $Rs(t)$和$Es(t)$分别表示无知者、谣言传播者、谣言清除者、谣言停止者和清除停止者t时刻时在人群中的数量密度. 因为人群中只存在这5类个体, 故5类个体的密度之和为1, 即$I(t)+S(t)+E(t)+Rs(t)+Es(t)=1$.

根据以上假设和传播规则, 建立SIERsEs谣言传播模型的平均场方程如下:

$$\begin{aligned}\frac{\mathrm{d}I(t)}{\mathrm{d}t} =& -(\lambda+\varepsilon)\bar{k}S(t)I(t)\\ &-(\theta+\gamma)\bar{k}E(t)I(t),\end{aligned}\tag{1}$$

$$\frac{\mathrm{d}S(t)}{\mathrm{d}t}=\lambda\bar{k}S(t)I(t)-\eta\bar{k}E(t)S(t)-\alpha S(t),\tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}E(t)}{\mathrm{d}t}=\theta\bar{k}E(t)I(t)+\eta\bar{k}E(t)S(t)-\beta E(t),\tag{3}$$

$$\frac{\mathrm{d}Rs(t)}{\mathrm{d}t}=\varepsilon\bar{k}S(t)I(t)+\alpha S(t)-\delta\bar{k}E(t)Rs(t),\tag{4}$$

$$\frac{\mathrm{d}Es(t)}{\mathrm{d}t}=\gamma\bar{k}E(t)I(t)+\beta E(t)+\delta\bar{k}E(t)Rs(t),\tag{5}$$

其中$\bar{k}$为信息传播关系网络的平均度参数.

3 谣言传播的稳态分析

SIERsEs网络谣言传播模型中, 谣言传播过程包含谣言感染和谣言清除两项过程. 本节通过设置人群密度初始值, 从谣言传播过程中各参数的变化情况, 对谣言感染和谣言清除的稳态进行单独分析, 从而研究达成和影响谣言传播稳态的条件.

我们知道, 随着谣言信息的“越来越不新鲜”, 公众对谣言信息的传播热情会不断下降, 传播者和清除者数量最终将降为0, 谣言传播过程结束, 即进入稳态. 将稳态时无知者、谣言停止者和清除停止者的密度分别记为I, Rs和Es, 从而有$I(t)\underset{t\to\infty}{=}I$, $Rs(t)\underset{t\to\infty}{=}Rs$和$Es(t)\underset{t\to\infty}{=}Es$. 在这里, Rs的值越大, 表示最终认同谣言的人越多, 本文用Rs的值表征谣言的影响力; Es的值越大, 表示最终认同真相的人越多, 谣言清除效果越好.

3.1 谣言感染的稳态分析

假设谣言产生之后人群中并没有出现谣言清除者, 即令谣言清除者初始值为0, 则$E(0)=0$, 由(3)式可得$E(t)=0$, 由此将谣言传播过程简化为谣言感染过程. 谣言停止者的稳态值Rs是考察谣言感染稳态的重要指标. 为推导Rs的解析表达式, 用(4)式除以(1)式得:

$$\begin{aligned}&\frac{\mathrm{d}Rs(t)}{\mathrm{d}I(t)}=\frac{\varepsilon\bar{k}S(t)I(t)+\alpha S(t)}{-(\lambda+\varepsilon)\bar{k}S(t)I(t)}=\frac{\varepsilon\bar{k}I(t)+\alpha}{-(\lambda+\varepsilon)\bar{k}I(t)}\\ &\Rightarrow \mathrm{d}Rs(t)=-\frac{\varepsilon}{\lambda+\varepsilon}\mathrm{d}I(t)-\frac{\alpha}{(\lambda+\varepsilon)\bar{k}I(t)}\mathrm{d}I(t).\end{aligned}\tag{6}$$

对(6)式两边积分, 得

$$\begin{aligned}&\int_0^{\infty}\mathrm{d}Rs(t)\mathrm{d}t\\ =&-\frac{\varepsilon}{\lambda+\varepsilon}\int_0^{\infty}\mathrm{d}I(t)\mathrm{d}t\\ &-\frac{\alpha}{(\lambda+\varepsilon)\bar{k}}\int_0^{\infty}\frac{\mathrm{d}I(t)}{I(t)}\mathrm{d}t.\end{aligned}\tag{7}$$

由于谣言是一个逐步传播扩散的过程, 因此初始状态下, 人群中只有极少量谣言传播者和绝大部分无知者, 可设定 $I(0)\approx 1$, $Rs(0)=0$, 则 (7) 式化为

$$Rs=-\frac{\varepsilon}{\lambda+\varepsilon}(1-I)-\frac{\alpha}{(\lambda+\varepsilon)\bar{k}}\ln(I). \tag{8}$$

而在稳态时, 人群中只存在无知者和谣言停止者, 故有 $Rs+I=1$. 则 (8) 式可化为

$$-\frac{\lambda\bar{k}}{\alpha}Rs=\ln(1-Rs) \tag{9}$$

$$\Rightarrow \mathrm{e}^{-\frac{\lambda\bar{k}}{\alpha}Rs}=\mathrm{e}^{\ln(1-Rs)}$$

$$\Rightarrow 1-Rs-\mathrm{e}^{-\frac{\lambda\bar{k}}{\alpha}Rs}=0. \tag{10}$$

令

$$f(x)=1-x-\mathrm{e}^{-\frac{\lambda\bar{k}}{\alpha}x},$$

若 $f(x)=0$ 存在非零解, 则这个解为 Rs; 若 $f(x)=0$ 不存在非零解, 则表示谣言并没有传播扩散.

对 $f(x)$ 求一阶导数得

$$f'(x)=-1+\frac{\lambda\bar{k}}{\alpha}\mathrm{e}^{-\frac{\lambda\bar{k}}{\alpha}x};$$

对 $f(x)$ 求二阶导数得

$$f''(x)=-\left(\frac{\lambda\bar{k}}{\alpha}\right)^2\mathrm{e}^{-\frac{\lambda\bar{k}}{\alpha}x}.$$

由于 $f''(x)<0$, 故 $f(x)$ 为凹函数. 从 (10) 式可知 $x\geqslant 1$ 时 $f(x)<0$, 又 $f(0)=0$, 故只有当 $f'(0)>0$ 时, $f(x)=0$ 才存在非零解, 即

$$f'(0)=\frac{\lambda\bar{k}}{\alpha}-1>0. \tag{11}$$

故当 $\lambda>\alpha/\bar{k}$ 时, $f(x)=0$ 存在非零解, 关系见图 2 (a); 当 $\lambda\leqslant\alpha/\bar{k}$ 时, $f(x)=0$ 不存在非零解, 见图 2 (b).

图 2 (a) 表示的是 $\lambda=2\alpha/\bar{k}>\alpha/\bar{k}$ 时 $f(x)$ 的函数关系, 其中 $f(x)=0$ 存在非零解; 图 2 (b) 表示的是当 $\lambda=0.5\alpha/\bar{k}<\alpha/\bar{k}$ 时 $f(x)$ 的函数关系, 其中 $f(x)=0$ 不存在非零解.

图 3 (a) 表示的是 Rs 与 λ 和 $\alpha/\bar{k}$ 的函数关系, 图形是一个扭曲的曲面, 图中用 $\tilde{\alpha}$ 表示 $\alpha/\bar{k}$. 从图 3 (a) 可以看出, $\alpha/\bar{k}$ 不变的情况下, λ 越大, 则 Rs 越大; λ 不变的情况下, $\alpha/\bar{k}$ 越小, Rs 越大. 图 3 (b) 是沿 Rs 轴的俯视图, 从图 3 (b) 可以清楚地看出当 $\lambda<\alpha/\bar{k}$ 时, $f(x)=0$ 不存在非零解.

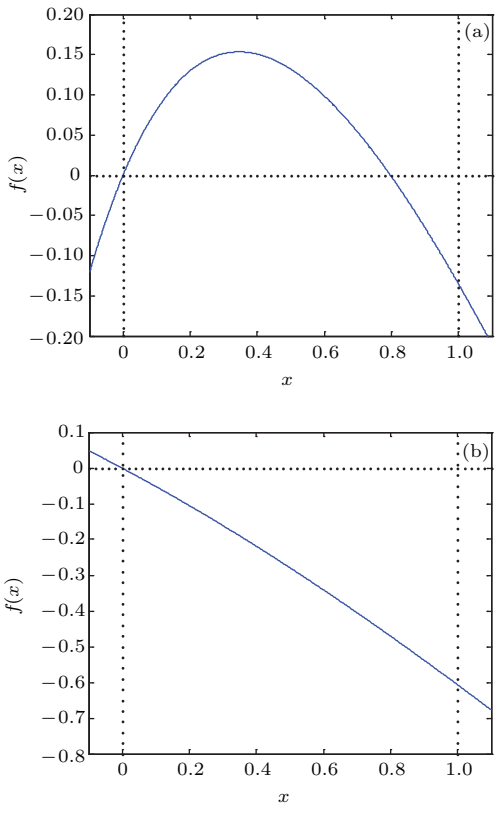

图 2 $f(x)$ 的函数关系图 (a) $\lambda=2\alpha/\bar{k}$; (b) $\lambda=0.5\alpha/\bar{k}$

Fig. 2. Function diagram of $f(x)$: (a) $\lambda=2\alpha/\bar{k}$; (b) $\lambda=0.5\alpha/\bar{k}$.

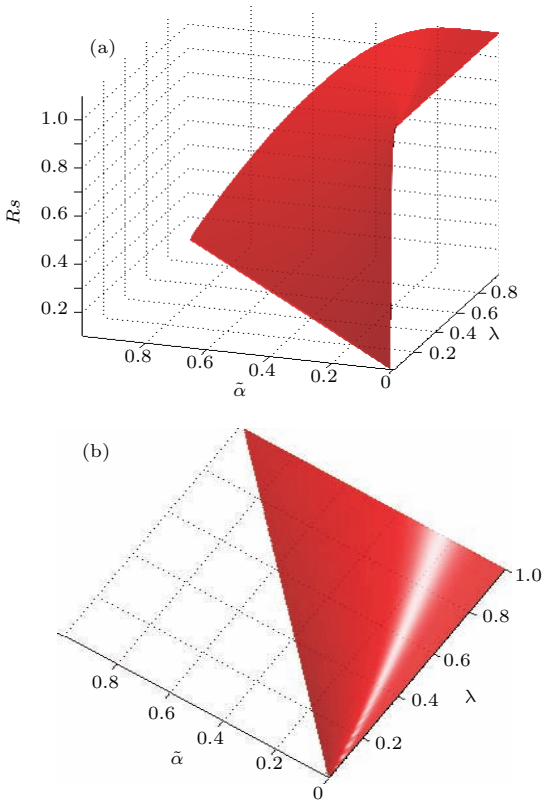

图 3 (网刊彩色) Rs 与 $\tilde{\alpha}$ 的函数关系图, 其中 $\tilde{\alpha}$ 代表 $\alpha/\bar{k}$ (a) 正视图; (b) 俯视图

Fig. 3. Functional diagram of Rs and $\tilde{\alpha}$, in which $\tilde{\alpha}$ represents $\alpha/\bar{k}$: (a) front view; (b) vertical view.

由图2和图3可知, 当谣言清除者初始值为0时, 谣言存在感染阈值$\alpha/\bar{k}$, 此时若谣言感染率λ小于感染阈值$\alpha/\bar{k}$, 谣言不能在人群中扩散. 当谣言清除者初始值不为0时, 由于谣言清除者对谣言感染过程具有清除作用, 故此时感染阈值将增大. 综上可知, 当感染率λ小于$\alpha/\bar{k}$时, 谣言一定无法扩散.

3.2 谣言清除的稳态分析

情形1 考虑谣言产生后人群中没有出现谣言传播者的情况. 设定, 相关人员或者部门对于谣言的发生有预案, 在事件发生的第一时间甚至之前就有针对性地传播真相, 则事件发生后一段时间内, 人群中可能还不存在谣言传播者, 此时人群中的无知者仅受到谣言清除者的影响. 即$S(0)=0$, 由(2)式可得$S(t)=0$, 由此将谣言传播过程简化为谣言清除过程. 清除停止者的稳态值Es是考察谣言清除稳态的重要指标. 仿照3.1节的方法, 求解Es, 可得

$$1-Es-\mathrm{e}^{-\frac{\theta\bar{k}}{\beta}Es}=0. \tag{12}$$

对照(10)式可知, 谣言感染者初始值为0时, 谣言清除存在清除阈值$\beta/\bar{k}$, 当谣言清除率θ大于清除阈值$\beta/\bar{k}$时, 谣言清除过程可以在人群中扩散, 真相信息能够在人群中传播开来.

情形2 当谣言感染者初始值不为0时, 若η和δ的值小到可以忽略时, 无知者变为谣言传播者和谣言清除者可视为两个竞争的过程. 这样可以采用文献[19, 20]中的竞争渗流理论, 求解谣言的感染阈值和清除阈值.

在更为复杂的谣言传播过程中, 会包含谣言传播者变为谣言清除者、谣言停止者变为清除停止者这两个过程, 此时, η和δ的值不可以被忽略. 在这种情况下, 无知者变为谣言传播者或者谣言清除者就不可以被简单地视为两个竞争过程. 谣言感染和谣言清除过程的相互作用关系会变得较为复杂, 目前还难以通过解析的方法对其进行分析. 本文第4节通过计算机仿真计算的方法, 研究两个过程综合作用下的谣言传播.

4 仿真计算

为和现实世界中的谣言涉及人群规模接近, 仿真初始值设定总人数为$N=10^7$, 考虑到初始状态下谣言传播者和谣言清除者极少, 故初始时刻五类个体的密度设置如下:

$$S(0)=\frac{1}{10^7},\quad E(0)=\frac{1}{10^7},\quad I(0)=\frac{10^7-2}{10^7},$$

$Rs(0)=0$, $Es(0)=0$. 设定当$S(t)=0$且$E(t)=0$时, 可以判定谣言传播进入了稳定状态. 仿真计算中参数设置为: $\lambda=0.25$, $\alpha=0.5$, $\eta=0.5$, $\theta=0.2$, $\beta=0.35$, $\delta=0.5$, $\varepsilon=0.3$, $\gamma=0.3$, 本文的仿真计算如无特别说明, 均采用上述参数值.

图4所示是SIERsEs模型的谣言传播过程中5类个体的密度随时间的变化关系, 可以看出谣言传播开始阶段5类个体的密度均无显著变化. 随后5类个体的密度迅速变化, 其中传播者数量$S(t)$和清除者数量$E(t)$迅速增多, 到达峰值后逐渐减少; 谣言停止者数量$Rs(t)$也先增后减; 清除停止者$Es(t)$持续增加. 最后传播者和清除者的数量$S(t)$, $E(t)$变为0, 五类个体的密度保持不变, 谣言传播停止, $Rs(t)$, $Es(t)$和$I(t)$达到稳定值.

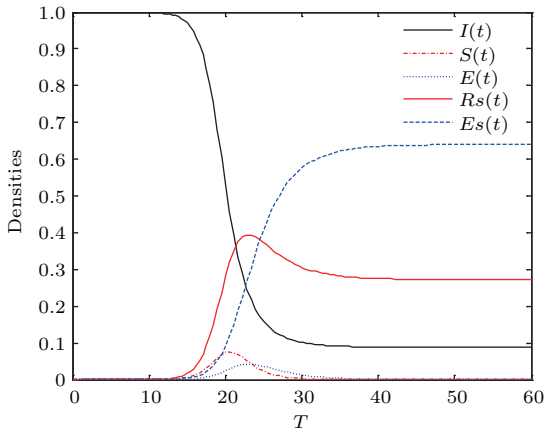

图4 (网刊彩色) 谣言传播过程中5类个体的密度随时间变化

Fig. 4. (color online) Densities of 5 types of individuals.

4.1 感染率λ与清除率θ对谣言传播的影响

现实中, 感染率高的谣言容易引发公众关注, 使更多公众相信并传播谣言. 而清除率高的真相信息容易使公众理解并相信. 本节通过仿真计算, 统计了不同感染率λ和清除率θ对谣言传播的影响.

谣言传播过程中, 传播者数量$S(t)$和清除者数量$E(t)$分别到达峰值时, 谣言的感染力和清除力分别达到最大. 因此, 仿真计算中将传播者和清除者的数量峰值, 作为考察谣言传播情况的重要指标. 本文将$S(t)$和$E(t)$的峰值分别记为

$S_{\rm MAX}$ 和 $E_{\rm MAX}$, 达到峰值的时间分别记为 $T_{\rm SMAX}$ 和 $T_{\rm EMAX}$.

图 5 统计了不同的感染率 λ 和清除率 θ 下, 谣言传播过程中传播者数量和清除者数量的峰值 $S_{\rm MAX}$, $E_{\rm MAX}$ 与谣言停止传播后的 I, Rs 和 Es. 从图 5 (a) 可以看出, 感染率 λ 越高, Rs 和 $S_{\rm MAX}$ 的值越大, Es 和 $E_{\rm MAX}$ 的值越小; 从图 5 (b) 可以看出, 清除率 θ 越高, Rs 和 $S_{\rm MAX}$ 的值越小, Es 和 $E_{\rm MAX}$ 的值越大; 感染率 λ 和清除率 θ 较大时, I 的值将较小.

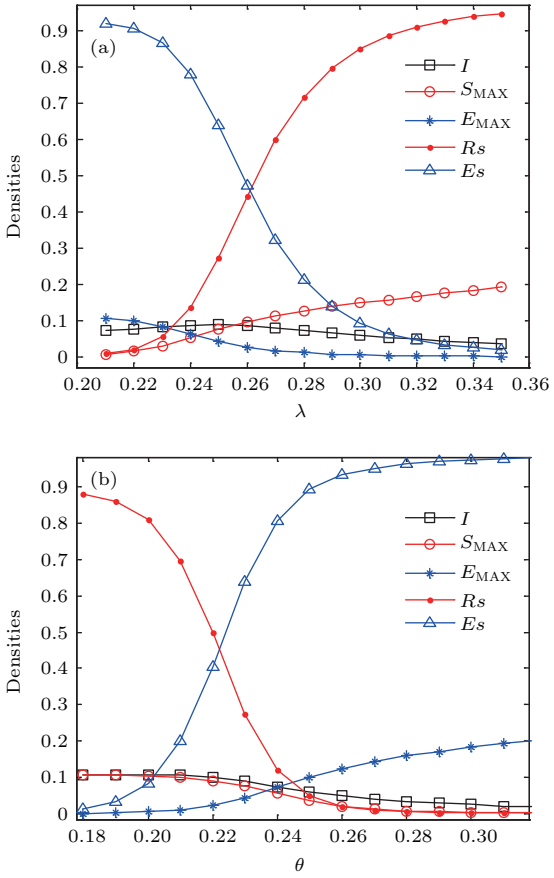

图 5 (网刊彩色) 不同的感染率与清除率对谣言传播影响 (a) 感染率 λ; (b) 清除率 θ

Fig. 5. (color online) Effects of different infecting rates and estimated rates on the spreading of rumor: (a) Infecting rates λ; (b) estimated rates θ.

本节的仿真计算结果表明, 谣言感染率和清除率对谣言传播具有显著影响, 谣言感染率 λ 越高, 谣言的影响力越大; 谣言清除率 θ 越高, 谣言的影响力越小.

4.2 网络平均度对谣言传播的影响

网络平均度是刻画公众信息传播网络拓扑特征的重要参数, 它表明了每个节点平均与多少个节点相链接. 本节比较不同网络平均度下的谣言传播, 以研究 SIERsEs 模型中网络平均度对谣言传播的影响.

将网络平均度 $\bar{k}$ 的值分别设置为 4, 5 和 6, 进行仿真计算可以得到图 6.

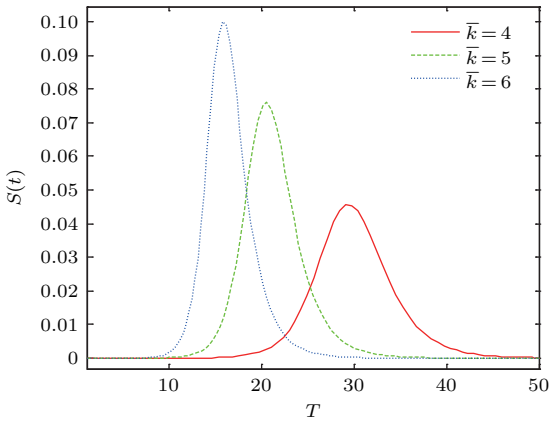

图 6 (网刊彩色) 不同网络平均度 $\bar{k}$ 条件下的 $S(t)$

Fig. 6. (color online) $S(t)$ under different network average degrees $\bar{k}$ conditions.

图 6 表示的是不同网络平均度 $\bar{k}$ 下, 谣言传播者的密度 $S(t)$ 随时间的变化情况. 从图 6 可以看出, 网络平均度 $\bar{k}$ 不同, 谣言传播者的密度的峰值不同, 达到峰值的时间也不同.

图 7 (a) 统计了不同网络平均度 $\bar{k}$ 下, 谣言传播过程中传播者数量和清除者数量的峰值 $S_{\rm MAX}$, $E_{\rm MAX}$ 与谣言停止传播后的 I, Rs 和 Es. 从图 7 (a) 可以看出, 随着网络平均度 $\bar{k}$ 的增大, $S_{\rm MAX}$, $E_{\rm MAX}$, Es 不断增大, I 不断减小, 而 Rs 先增大后减小. 网络平均度 $\bar{k}$ 为 4.5 左右, Rs 的值达到最大. 网络平均度过小或过大时, Rs 的值都将偏低. 网络平均度过小时, 谣言传播者峰值 $S_{\rm MAX}$ 较小, 谣言难以传播扩散, 造成 Rs 的值较小; 网络平均度过大时, 谣言清除者峰值 $E_{\rm MAX}$ 较大, 谣言更容易被清除, 因此 Rs 的值也较小.

图 7 (b) 统计了不同网络平均度 $\bar{k}$ 下, 谣言传播过程中传播者和清除者数量达到峰值的时间 $T_{\rm SMAX}$ 和 $T_{\rm EMAX}$. 从图 7 (b) 可以看出, 网络平均度 $\bar{k}$ 越大, $T_{\rm SMAX}$ 和 $T_{\rm EMAX}$ 越小, 且网络平均度 $\bar{k}$ 越小, $\bar{k}$ 的变化对 $T_{\rm SMAX}$ 和 $T_{\rm EMAX}$ 的影响越显著.

本节的仿真计算结果表明, 网络平均度对谣言传播过程和最终状态均具有显著影响, 网络平均度 $\bar{k}$ 越大, 谣言传播者的密度的峰值越高, 同时达到峰值的时间越早.

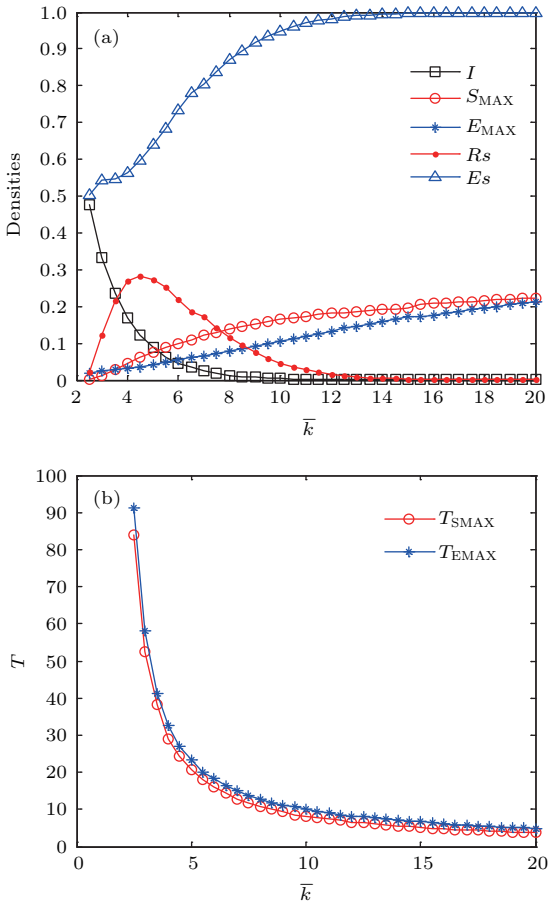

图 7 (网刊彩色) 不同的网络平均度 $\bar{k}$ 对谣言传播的影响 (a) 稳态时的人群密度及传播力峰值; (b) 达到传播力峰值的时间点 T

Fig. 7. (color online) Effects of different network average degrees $\bar{k}$ on spreading of rumor: (a) Population densities in steady state and peaks of propagation force; (b) time point T to reach the peaks of propagation force.

5 网络谣言抑制策略

谣言抑制, 一般采用谣言免疫的方法来控制谣言传播. 目前对谣言免疫[11,14,21−28]的研究, 通常参考借鉴传染病免疫[29]中的研究成果, 通过某种算法从网络中选取出一部分节点作为“待免疫节点”, 并对这些选取的节点实施免疫. 不同的谣言免疫策略选取待免疫节点的算法不同, 例如随机免疫[21−25]通过随机的方式选取待免疫节点, 目标免疫和熟人免疫采用基于节点的连通度[11,14,21,22,26,27]、基于边权等[28]方法选取出“重要节点”, 作为待免疫节点.

然而, 认真分析可以发现, 与传染病免疫相比, 网络谣言的免疫有以下两个重要的不同特点.

特点一 在网络谣言免疫中, 实施免疫者通常需要依靠既有网络关系的信息转发来实施免疫, 而难以靠新建的接触路径来实施“目标免疫”和“熟人免疫”. 传染病免疫中, 易感者通常愿意接受免疫, 实施免疫者和易感者之间的接触路径容易被建立, 这样实施免疫者就能有选择性地对易感者实施目标免疫或熟人免疫. 而在谣言免疫中, 实施免疫者与谣言易感者之间的接触路径通常难以建立. 例如对社交网络中的谣言进行免疫时, 如果待免疫的“目标易感者”和实施免疫者不是“好友”关系, 那么实施免疫者和“目标易感者”之间, 不存在且难以临时新建接触路径. 这样即使按照“目标免疫”和“熟人免疫”等方法选出了将要被实施免疫的“目标易感者”, 免疫信息也难以被“推送”至“目标易感者”.

特点二 网络谣言免疫通常不需要出于对免疫成本的考虑, 而有选择性地只对部分谣言易感者实施免疫. 传染病免疫中, 需要实施免疫的易感者越多, 实施免疫的成本也就越高, 而成本将影响免疫策略的制定和选择. 比如目标免疫, 力求用尽可能低的成本达到尽量好的免疫效果. 而在网络谣言的免疫中, 谣言免疫通常只涉及到信息的转发, 对更多的易感者实施谣言免疫并不额外增加免疫成本, 因此没有必要因为免疫成本的原因而仅仅只对部分谣言易感者实施免疫. 例如, 对社交网络中的谣言进行免疫时, 由于信息推送本身几乎不需要成本, 为了达到最好的免疫效果, 谣言免疫者会依托既有的接触网络, 将免疫信息“推送”至其所有的“好友”, 而不是部分的“好友”.

综上所述, 随机免疫、目标免疫和熟人免疫等策略, 能较好地适应传染病免疫中临时新建接触路径和需要考虑免疫成本的特点, 却不能很好地运用于网络谣言的抑制. 因此, 本文立足网络谣言免疫中依靠既有网络关系的信息转发来实施免疫的特点, 提出两种网络谣言抑制策略: 被动免疫和主动免疫. 被动免疫指使用法律、技术等手段使谣言传播者停止传播谣言, 即采取干预手段将谣言传播者转变为谣言停止者. SIERsEs 模型中的被动免疫可以通过提高 α 值来进行刻画. 主动免疫指依托网络中的大众媒体、网络“大 V”和微信公众号等媒体持续发布真相信息、清除谣言. SIERsEs 模型中的主动免疫可以通过降低 β 值来刻画.

下面通过仿真计算来检验抑制策略的有效性. 设定我们在 $t = 20$ 时开始实施免疫, 开始实施免疫后, 谣言传播者、谣言清除者和谣言停止者 t 时

刻时在人群中的密度分别用 $S^*(t)$, $E^*(t)$ 和 $Rs^*(t)$ 表示. 被动免疫中通过提高 α 值来实施免疫, 实验中将 $\alpha = 0.5$ 修改为 $\alpha^* = 0.7$, 谣言传播过程见图 8 (a); 主动免疫中通过降低 β 值来实施免疫, 实验中将 $\beta = 0.35$ 修改为 $\beta^* = 0.2$, 谣言传播过程见图 8 (b).

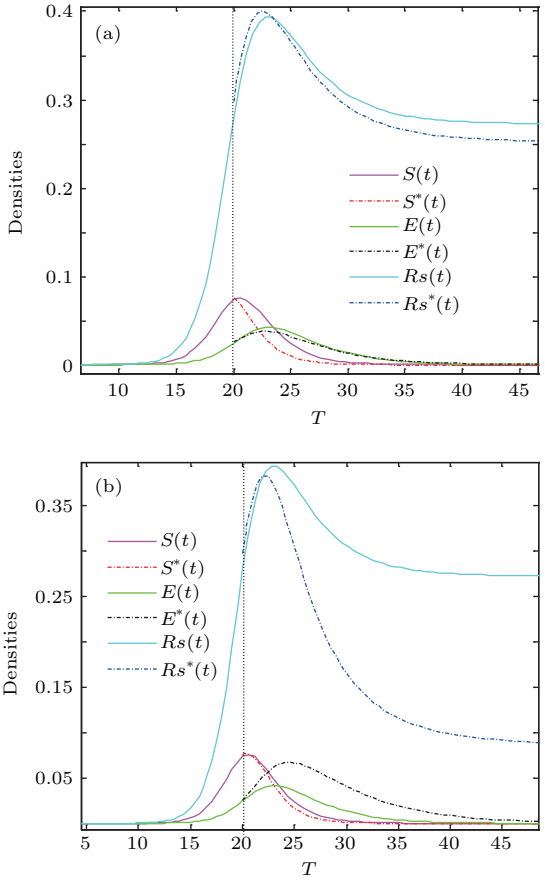

图 8 (网刊彩色) 谣言抑制策略的效果 (a) 未实施免疫与实施被动免疫 $\alpha = 0.5$, $\alpha^* = 0.7$; (b) 未实施免疫与实施主动免疫 $\beta = 0.35$, $\beta^* = 0.2$

Fig. 8. (color online) Effects of inhibition strategies: (a) No immune and passive immunization $\alpha = 0.5$, $\alpha^* = 0.7$; (b) no immune and active immunization $\beta = 0.35$, $\beta^* = 0.2$.

图 8 (a) 所示为被动免疫对谣言传播过程的影响, 从图中可以看出, 施加免疫能有效降低 $S(t)$ 的值, 最终使 $Rs(t)$ 的值下降; 图 8 (b) 所示为主动免疫对谣言传播过程的影响, 从图中可以看出, 施加免疫能有效提高 $E(t)$ 的值, 最终使 $Rs(t)$ 的值下降. 从图 8 可以看出, 被动免疫和主动免疫均能降低人群中的谣言传播者 $S(t)$ 和谣言停止者 $Rs(t)$ 的数量.

被动免疫和主动免疫均是从某个时间点开始, 通过采取抑制措施来对谣言的传播过程进行干预, 其中传播者和清除者的遗忘率与开始实施免疫的时间, 是影响谣言抑制效果的重要参数.

5.1 传播者和清除者的遗忘率对谣言传播的影响

$S(t)$ 和 $E(t)$ 的峰值 $S_{\rm MAX}$ 和 $E_{\rm MAX}$ 与 $Rs(t)$ 和 $Es(t)$ 的终值 Rs 和 Es 这 4 项指标, 可以用来表征谣言的传播效果. 图 9 (a) 统计了不同传播者遗忘率条件下谣言的传播效果; 图 9 (b) 统计了不同清除者遗忘率条件下谣言的传播效果.

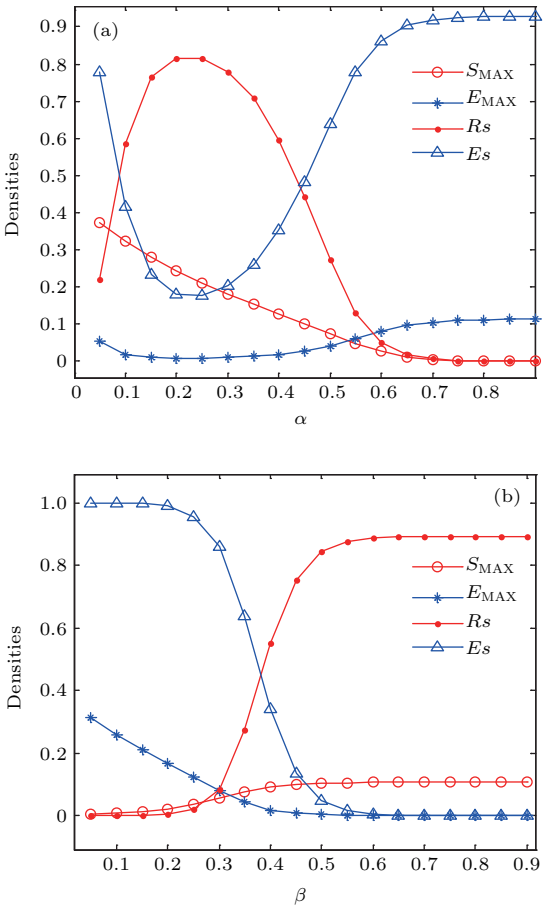

图 9 (网刊彩色) 不同的传播者遗忘率与清除者遗忘率对谣言传播影响 (a) 传播者遗忘率 α; (b) 清除者遗忘率 β

Fig. 9. (color online) Effects of different forgetting rates on the spreading of rumor: (a) Forgetting rate of spreader α; (b) forgetting rate of eliminater β.

从图 9 (a) 可以看出, 传播者遗忘率 α 对谣言传播效果的影响出现了明显的分段现象: 传播者遗忘率大于 0.2 左右时, 其值越大, $S_{\rm MAX}$, Es 和 $E_{\rm MAX}$ 越小, Rs 越大; 传播者遗忘率小于 0.2 左右时, 其值越大, Rs 反而越大, Es 反而越小. 被动免疫通过法律技术等手段增大传播者遗忘率的方法来进行

谣言免疫, 图9 (a) 表明: 当传播者遗忘率较小时, 实施被动免疫可能促进谣言传播. 结合图9 (a) 可知, 当遗忘率小于0.2 时, 通过实施被动免疫增大传播者遗忘率, 更多的传播者会直接变为传播停止者, 这样, 会有更少的传播者变为清除者, 从而造成 $E_{\rm MAX}$ 数量下降, 谣言清除过程受到抑制, 谣言影响力反而得到提高.

图9 (b) 为不同清除者遗忘率条件下谣言的传播效果, 从图中可以看出, 清除者遗忘率对谣言传播效果的影响较为简单: 清除者遗忘率越小, $S_{\rm MAX}$ 和 Rs 越小, $E_{\rm MAX}$ 和 Es 越大.

5.2 开始实施免疫的时间对谣言传播的影响

用 T^* 表示开始实施免疫的时间, 被动免疫中将 $\alpha = 0.5$ 修改为 $\alpha^* = 0.7$, 统计不同开始免疫时间条件下谣言的传播效果, 得到图10 (a); 主动免疫中将 $\beta = 0.35$ 修改为 $\beta^* = 0.2$, 统计不同开始免疫时间条件下谣言的传播效果, 得到图10 (b). 从图10 中可以看出, 被动免疫和主动免疫呈现了相似的规律: 开始免疫的时间越早, $S_{\rm MAX}$ 和 Rs 越小, $E_{\rm MAX}$ 和 Es 越大, 谣言抑制的效果越好. 当开始免疫的时间 $t > 20$ 时, 由于谣言传播趋于稳定, 谣言抑制的效果较差.

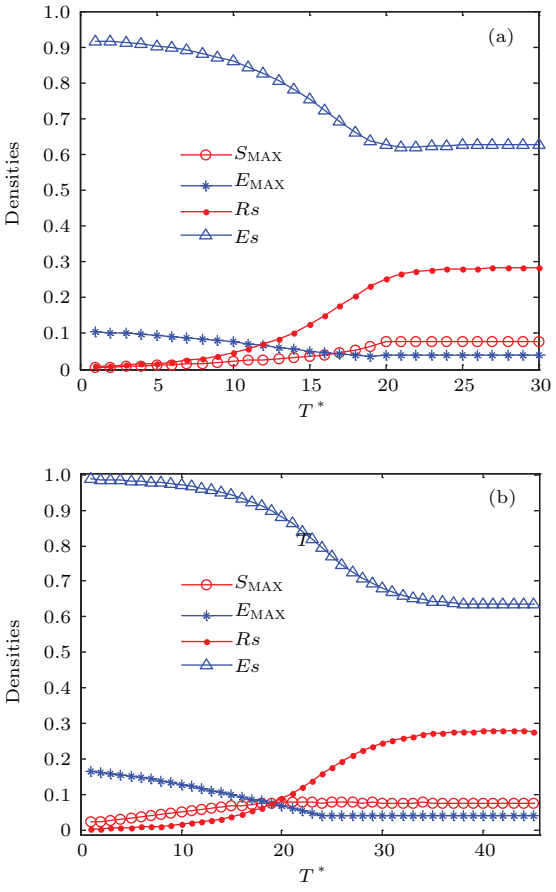

图10 开始实施免疫的时间 T^* 对谣言传播效果的影响 (a) 被动免疫; (b) 主动免疫

Fig. 10. Effects of starting time T^* of immunization on spreading of rumor: (a) Passive immunization; (b) active immunization.

6 结 论

本文研究了同时存在谣言感染和谣言清除过程的谣言传播与抑制, 提出了一个包含谣言清除者的SIERsEs谣言传播模型, 并结合网络和传染病动力学理论, 建立了模型的平均场方程, 解析分析和计算机仿真计算结果表明: 当感染率 λ 小于阈值 $\alpha/\bar{k}$ 时, 谣言一定无法在人群中扩散; 谣言感染率 λ 越高, 谣言的影响力越大; 谣言清除率 θ 越高, 谣言的影响力越小; 网络平均度 $\bar{k}$ 越大, 谣言传播者的峰值越高, 达到峰值越快; 网络平均度过小或过大, 都会使谣言传播稳定后持谣言观点人群的数量处于低水平.

同时, 本文分析了网络环境下谣言抑制的特点, 提出主动免疫和被动免疫两种谣言抑制策略, 并研究了不同参数对谣言抑制有效性的影响. 研究发现, 主动免疫和被动免疫都是有效的谣言抑制策略. 在主动免疫中, 清除者遗忘率越低, 谣言的影响力越小; 而在被动免疫中需要注意传播者遗忘率对谣言传播的分段影响, 传播者遗忘率小于某一特定值时, 传播者遗忘率越大, 谣言的影响力反而越大. 实施主动免疫或被动免疫的时间越早, 谣言免疫的效果越好.

参考文献

[1] Daley D J, Kendall D G 1965 *J. Appl. Math.* **1** 42
[2] Maki D P, Thompson M 1973 *Mathematical Models and Applications* (New Jersey: Englewood Cliffs) p10
[3] Zanette D H 2001 *Phys. Rev. E* **64** 050901
[4] Zanette D H 2002 *Phys. Rev. E* **65** 041908
[5] Moreno Y, Nekovee M, Pacheco A F 2004 *Phys. Rev. E* **69** 066130
[6] Xing Q B, Zhang Y B, Liang Z N 2011 *Chin. Phys. B* **20** 120201
[7] Lu Y L, Jiang G P, Song Y R 2012 *Chin. Phys. B* **21** 100207
[8] Song Y R, Jiang G P, Gong Y W 2012 *Chin. Phys. B* **21** 010205

[9] Trpevski D, Tang W K S, Kocarev L 2010 *Phys. Rev. E* **81** 056102
[10] Zhao L J, Wang Q, Cheng J J, Chen Y C, Wang J J, Huang W 2011 *Physica A: Statist. Mech. Appl.* **390** 2619
[11] Gu Y R, Xia L L 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 238701 (in Chinese) [顾亦然, 夏玲玲 2012 物理学报 **61** 238701]
[12] Wang C, Liu C Y, Hu Y P, Liu Z H, Ma J F 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 180501 (in Chinese) [王超, 刘骋远, 胡远萍, 刘志宏, 马建峰 2014 物理学报 **63** 180501]
[13] Zan Y, Wu J, Li P, Yu Q 2014 *Physica A: Statist. Mech. Appl.* **405** 159
[14] Wang J, Zhao L, Huang R 2014 *Physica A: Statist. Mech. Appl.* **398** 43
[15] Allport G W, Postman L 1947 *Public Opin. Quart.* **10** 501
[16] Peterson W, Gist N 1951 *Am. J. Sociol.* **57** 159
[17] Rasnow R L 1988 *J. Commun.* **38** 1
[18] Pendleton S C 1998 *Lang. Commun.* **1** 69
[19] Karrer B, Newman M E J 2011 *Phys. Rev. E* **84** 036106
[20] Wang W, Tang M, Yang H, Do Y, Lai Y C, Lee G 2014 *Sci. Rep.* **4** 5097
[21] Huang J Y, Jin X G 2011 *J. Syst. Sci. Compl.* **24** 449
[22] Singh A, Singh Y N 2013 *Acta Phys. Pol. B* **44** 5
[23] Albert R, Jeong H, Barabási A L 2000 *Nature* **406** 378
[24] Cohen R, Erez K, Ben-Avraham D, Havlin S 2000 *Phys. Rev. Lett.* **85** 4626
[25] Pastor-Satorras R, Vespignani A 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 3200
[26] Gómez-Gardenes J, Echenique P, Moreno Y 2006 *Eur. Phys. J. B* **49** 259
[27] Cohen R, Havlin S, Ben-Avraham D 2003 *Phys. Rev. Lett.* **91** 247901
[28] Wang W, Tang M, Zhang H F, Gao H, Do Y, Liu Z H 2014 *Phys. Rev. E* **90** 042803
[29] Anderson R M, May R M 1992 *Infectious Diseases in Humans* (Oxford: Oxford University Press) pp530–540

Propagation and inhibition of online rumor with considering rumor elimination process*

Wan Yi-Ping Zhang Dong-Ge† Ren Qing-Hui

(*College of Command Information Systems, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China*)

(Received 17 August 2015; revised manuscript received 10 September 2015)

Abstract

As one of the most important aspects of spreading dynamics on networks, propagation of rumor, which includes the process of rumor diffusing and elimination, plays an important role in the understanding of information dissemination within social networks. However, the current understanding of rumor propagation within networks is far from clear, especially the full analysis of the process of rumor diffusing and elimination is lacking. Here, with the rumor elimination process supplemented to the susceptible-infective-refractory (SIR) rumor spreading model, a modified rumor spreading model is established and defined as spreader-ignorant-eliminater-Rstifler-Estifler (SIERsEs) model. The developed mean-field equations of SIERsEs model, with the diffussing and elimination thresholds calculated, could describe the theory of steady-state dynamics of the rumor propagation. Simulation analysis is performed to assess the interaction between the diffussing and elimination process, and estimate the influences of diffusing rate, estimation rate, and averaged degree of the network, on the rumor spreading. The results show whether low or high value of average network degree would accompany a low level of the influence of rumor propagation. In addition, the shortcomings of the traditional immunization strategies, such as targeted immunization and acquaintances immunization, are pointed out. Based on this understanding, we propose two optimized immunization strategies, defined as active immunization and passive immunization, and we further evaluate how different parameters (forgetting rate of spreader, forgetting rate of eliminater and the starting time of immunization) affect the suppression effectiveness of the newly developed active and passive immunization strategies. Importantly, some so-called rumor-inhibition strategies actually could not inhibit but enhance the rumor propagation instead. These obtained findings in the present study could not only elaborate our understandings in spreading dynamics within network, but also provide an insight into the developing effective strategies of inhibiting rumor propagation.

Keywords: propagation of rumor, rumor elimination, immunization strategy

PACS: 05.10.–a, 87.23.Ge, 89.75.Fb **DOI:** 10.7498/aps.64.240501

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61174198).

† Corresponding author. E-mail: sys_analysis@126.com