

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2018.05.011

负面思想传播的 IHSRI 模型研究

蔡秀梅, 张光建, 黄贤英, 刘小洋, 刘超

(重庆理工大学计算机科学与工程学院, 重庆 400054)

摘要: 针对目前各类负面思想传播多采用定性分析, 未能揭示思想传播内在规律的问题, 引入病毒传播理论与数学建模的方法, 提出了负面思想传播的 IHSRI (Ignorant-Hidden-Spread-Removed-Ignorant) 模型. 首先分析系统中无知者 (I)、潜伏者 (H)、传播者 (S) 和移出者 (R) 这四种状态的网民之间的转换关系, 接着建立相应的数学传播模型, 求得该模型的平衡点, 对模型的局部稳定性进行分析并证明, 当基本再生数 R_0 小于等于 1 时, 无负面平衡点局部渐进稳定, 当基本再生数 R_0 大于 1 时, 负面平衡点渐进稳定. 仿真结果表明, 潜伏者 (H) 到移出者 (R) 的转移速率 ϵ 从 0.04 增加到 0.2, 可以使基本再生数 R_0 从 5.71 减小到 2.67; 比例系数 α 从 0.8 减小到 0.15, 可以使 R_0 从 5.71 减小到 1.07, 可知通过增加 ϵ 和减小 α 可以减小 R_0 的取值, 可实现模型趋近于无负面平衡点, 提出的 IHSRI 模型能够准确的描述负面思想传播的过程, 证明此模型是合理、有效的.

关键词: 负面思想传播; IHSRI 模型; 传播阈值; 平衡点

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2018)05-0971-06

A study on IHSRI model of negative ideological propagation

CAI Xiu-Mei, ZHANG Guang-Jian, HUANG Xian-Ying, LIU Xiao-Yang, LIU Chao

(School of Computer Science and Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

Abstract: The negative ideological are mostly qualitative analyzed at present, which failed to reveal the inherent law of ideological propagation. In order to solve the problem, the IHSRI (Ignorant-Hidden-Spread-Removed-Ignorant) model is proposed utilizing the method of virus propagation theory and mathematical modeling. Firstly, the authors analyze the conversion relationship between of Internet users under four states, that is, ignorant (I), hidden (H), spread (S) and removed (R). Then, the authors establish the corresponding mathematical propagation model. The equilibrium point of the model is calculated and the local stability of the model is analyzed and proved. The no negative equilibrium is locally asymptotically stable when the basic reproduction number R_0 is less than or equal to 1; the negative equilibrium is locally asymptotically stable as the number R_0 is greater than 1. Finally, the simulation result shows that the basic reproduction number R_0 can be reduced from 5.71 to 2.67 when the transfer rate ϵ (transforming from H to R) increases from 0.04 to 0.2; R_0 can be reduced from 5.71 to 1.07 when the proportionality coefficient α decreases from 0.8 to 0.15. It can be seen that the value of R_0 can be reduced

收稿日期: 2017-05-30

基金项目: 教育部人文社科研究思想政治专项项目(16JDSZ2019); 教育部人文社科青年项目(16YJC860010); 国家自然科学基金青年项目(61503052); 重庆市社会科学规划青年项目(2016QNCB28, 2015BS059); 2017年重庆市教育委员会人文社会科学规划项目(17SKG151, 17SKG144); 国家社科基金项目(17XXW004); 重庆市教育科学规划项目(2016-GX-131)

作者简介: 蔡秀梅(1991-), 女, 河南兰考人, 硕士生, 研究方向为传播模型, 计算机应用等. E-mail: caixiumei_smile@163.com

通讯作者: 张光建. E-mail: zhangguangjian_789@163.com

by increasing ϵ and decreasing α , and the model can be approximated to the non-negative equilibrium. The research shows that the IHSRI model can accurately describe the process of negative ideology propagation, which proved that this model is reasonable and effective.

Keywords: Negative ideology propagation; IHSRI model; Propagation threshold; Equilibrium point

1 引言

随着现代网络和经济的不断发展^[1-4],人们思想传播方式也发生了很大变化.研究网络环境下思想的传播规律,对人们思想教育以及成长成才都有着举足轻重的意义,因此,许多学者针对思想传播展开了大量研究工作. Xu 等^[5]基于新浪微博的平台,探究了微博对大学生思想政治教育传播的影响; Zhang 等^[6]在新媒体的环境背景下,根据新媒体的特性,揭示了高校思想政治教育的传播规律以及新媒体深入高校思想政治教育的对策.但是以上研究者仅仅是从理论上说明了思想传播的要素和特性,没有建立相应的模型,很难揭示思想传播的内在特性.

由于舆论传播、谣言传播、思想传播等与生物病毒传播存在很多共性,近些年一些经典的病毒传播模型如 SIRS (Susceptible-Infected-Removed-Susceptible) 模型^[7,8]、SEIR (Susceptible-Exposed-Infected-Removed) 模型^[9,10]和 SEIRS (Susceptible-Exposed-Infected-Removed-Susceptible) 模型^[11,12]等被很多学者引用到舆论传播和舆情传播的领域中来; Dong 等^[13]在社交网络的背景下,研究了舆论的形成和传播,并提出相应的舆论动态传播模型; Liu 等^[14]基于社交媒体的环境,探究了用户特有的特征用于谣言检测,并建立了谣言传播模型; 索琪等^[15]在超网络环境中,模拟了舆情传播的过程,进一步揭示网络舆情的传播规律; 韩忠明等^[16]以网络热点话题为平台,建立了基于自激霍克斯过程的传播模型; Tan 等^[17]在社交网络环境的背景下,提出了一种新颖的谣言传播模型.但是通过建立传播模型来分析思想传播的研究成果依然相对较少. Wang 等^[18]分析了思想传播的机理,并提出了创新思想传播的方法,但是文献[18]只是分析了思想传播的方式,缺少数据方面的论证,不具有一般性,不能揭示思想传播的一般规律,因而需要建立更为一般性的思想传播模型.

为了弥补上述研究成果的不足,在现有研究的基础上,借鉴病毒传播建模的思想,在负面思想传播的领域中,建立了 IHSRI 模型,进而对负面思想

传播的特性进行研究,对模型进行分析,并求得模型的平衡点和基本再生数 R_0 .通过理论分析并用 Jacobi 矩阵的方法证明了平衡点的局部稳定性,通过数值模拟,分析影响负面思想传播的关键因素,进而政府或者相关部门采取相应的措施,及时减小或阻止思想传播的速度,使其对人类的影响最小.

2 传统计算机病毒传播模型

2.1 SIR (Susceptible-Infected-Removed) 模型

由于互联网的飞速发展,计算机病毒的肆虐对人类的生产生活,带来了严重的危害,因此研究计算机病毒的传播机理具有重要的意义,具体的传播过程可以用如下的 SIR 模型描述.

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta SI \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I \end{cases} \quad (1)$$

此模型准确地描述了计算机病毒传播的演变过程,对人类的财产及个人生活安全具有重要的意义.

2.2 SIS (Susceptible-Infected-Susceptible) 模型

计算机病毒是通过自我复制的恶意代码或程序,它能够通过有线或者无线传播,具体的传播过程可以用如下的 SIS 模型描述.

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta SI + \gamma I \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I \end{cases} \quad (2)$$

此模型进一步假设染病后的计算机重新成为易感染者,考虑了反馈机制,有效地描述了计算机病毒的发展过程.

3 提出的 IHSRI 模型

由于负面思想传播和传统的传染病的扩散在机理上具有很大的相似性,该研究借鉴了病毒传播建模的思想,提出了 IHSRI 的负面思想传播模型.与经典的病毒传播模型不同的是,潜伏者传递负面思想则转变为传播者,潜伏者有一定辨识负面思想

的能力则转变成移出者.

在 IHSRI 模型中, 系统中的网民有四种状态: 无知者 (I) 即未受到相关负面思想影响的网民、潜伏者 (H) 即已经得知负面思想但尚未具有传播能力的网民、传播者 (S) 即已经受到负面思想感染并传播负面思想的网民、移出者 (R) 即接收到负面思想但不再感兴趣网民. 其中 $I(t)$ 、 $H(t)$ 、 $S(t)$ 、 $R(t)$ 分别表示 t 时刻这四类网民占总网民的百分比, 则

$$I(t) + H(t) + S(t) + R(t) = 1 \quad (3)$$

这四类网民之间的状态转移过程如图 1 所示.

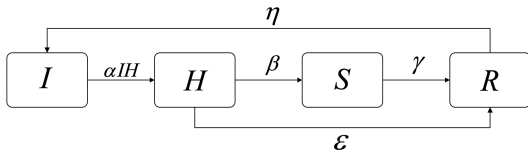


图 1 IHSRI 模型示意图
Fig. 1 IHSRI model diagram

节点状态不仅与自身的状态有关还与邻居节点的状态以及网络环境相关, 因此定义以下负面思想传播的规则.

- (1) 一个潜伏者一旦与无知者接触就必然有一定的传播能力. 假设 t 时刻单位时间内, 一个潜伏者能传染无知者的数目与此环境内潜伏者总数 $H(t)$ 成正比, 比例系数为 α , 则 t 时刻单位时间内被所有潜伏者传染的无知者的人数为 $\alpha I(t)H(t)$;
- (2) 潜伏者如果传播负面思想则以概率 β 转变成传播者, 若不传播负面思想则以概率 ϵ 变成移出者;
- (3) 传播者以概率 γ 成为移出者;
- (4) 移出者以概率 η 成为无知者.

根据上述传播规则, 可建立如下的微分方程组模型.

$$\begin{cases} \frac{dI}{dt} = \eta R - \alpha IH \\ \frac{dH}{dt} = \alpha IH - \beta H - \epsilon H \\ \frac{dS}{dt} = \beta H - \gamma S \\ \frac{dR}{dt} = \gamma S + \epsilon H - \eta R \end{cases} \quad (4)$$

把式(3)代入式(4), 则式(4)可以转化为

$$\begin{cases} \frac{dH}{dt} = \alpha(1 - H - S - R)H - (\beta + \epsilon)H \\ \frac{dS}{dt} = \beta H - \gamma S \\ \frac{dR}{dt} = \gamma S + \epsilon H - \eta R \end{cases} \quad (5)$$

初始值属于集合

$$D = \{(H, S, R) \mid H, S, R \geq 0 \text{ 且 } H + S + R \leq 1\} \quad (6)$$

3.1 平衡点分析

令式(5)的右端为零, 则可以得到方程的两个可能存在的平衡点.

(1) 无负面平衡点. 当 H, S, R 的值均为零, 即边界点为 $P(0, 0, 0)$ 时, 系统中将不存在负面思想传播的现象, 所以点 P 即为系统的无负面平衡点.

(2) 负面平衡点. 在 D 内的非零平衡点 $Q(H^*, S^*, R^*)$, 其中

$$H^* = \frac{\frac{\gamma}{\beta}(1 - \frac{\beta + \epsilon}{\alpha})}{(1 + \frac{\gamma}{\beta} + \frac{\gamma}{\eta} + \frac{\epsilon\gamma}{\beta\eta})} \quad (7)$$

$$S^* = \frac{1 - \frac{\beta + \epsilon}{\alpha}}{(1 + \frac{\gamma}{\beta} + \frac{\gamma}{\eta} + \frac{\epsilon\gamma}{\beta\eta})} \quad (8)$$

$$R^* = \frac{(\gamma + \frac{\epsilon\gamma}{\beta})(1 - \frac{\beta + \epsilon}{\alpha})}{\eta(1 + \frac{\gamma}{\beta}) + \gamma + \frac{\epsilon\gamma}{\beta}} \quad (9)$$

它是 D 内的唯一的非零平衡点, 即负面平衡点.

结合式(5)和式(6)可知, 令 $R_0 = \alpha/(\beta + \epsilon)$ 则当 $R_0 > 1$ 时传播平衡点 Q 才在 D 内存在, 即 R_0 决定了负面思想传播与否, 则 R_0 称为负面思想的传播阈值. 由 R_0 的表达式可知, 通过改变 ϵ 和 α 的值可以使 R_0 的值发生变化.

3.2 平衡点的稳定性分析

定理 1 当 $R_0 \leq 1$ 时, 无传播平衡点 P 局部渐进稳定; 当 $R_0 > 1$ 时, 无传播平衡点 P 不稳定.

证明 在 P 点的 Jacobi 矩阵为

$$\begin{bmatrix} \alpha - 2\alpha H - (\beta + \epsilon) & 0 & 0 \\ \beta & -\gamma & 0 \\ \epsilon & \gamma & -\eta \end{bmatrix} \quad (10)$$

其特征值为

$$\begin{cases} \lambda_1 = \alpha - 2\alpha H - (\beta + \epsilon) \\ \lambda_2 = -\gamma \\ \lambda_3 = -\mu \end{cases} \quad (11)$$

由于在 P 点 $H = 0$ 故 $\lambda_1 = \alpha - (\beta + \epsilon)$, 由参数的设定可知, λ_2 和 λ_3 都为负实数. 故当 $R_0 < 1$ 时, $\lambda_1 < 0$; 当 $R_0 > 1$ 时, $\lambda_1 > 0$. 定理 1 得证.

定理 2 当 $R_0 > 1$ 时, 负面平衡点 Q 局部渐进稳定; 当 $R_0 \leq 1$ 时, 传播平衡点 Q 不稳定.

证明 式(5)在 Q 点的 Jacobi 矩阵为

$$\begin{bmatrix} \alpha(1-S-R) - 2\alpha H - (\beta + \epsilon) & -\alpha H & -\alpha H \\ & \beta & -\gamma & 0 \\ & \epsilon & \gamma & -\eta \end{bmatrix} \quad (12)$$

其特征多项式为 $a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$, 其中

$$\begin{cases} a_0 = 1 \\ a_1 = \beta + \epsilon + \gamma + \eta + 2\alpha H - \alpha IH \\ a_2 = \gamma\eta + \alpha H(\beta + \epsilon) - [\alpha IH - 2\alpha H - (\beta + \epsilon)](\gamma + \eta) \\ a_3 = \alpha H(\beta\gamma + \beta\eta + \epsilon\gamma) - (\alpha IH - 2\alpha H - \epsilon - \beta)\eta\gamma \end{cases} \quad (13)$$

有

$$\begin{cases} \Delta_1 = a_1 \\ \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_0 \\ a_3 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 \\ \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 \\ 0 & 0 & a_3 \end{vmatrix} = a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) \end{cases} \quad (14)$$

经计算可知,当 $R_0 > 1$ 时, $\Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0$ 且 $\Delta_3 > 0$, 根据 Hurwitz 定理可知传播平衡点 Q 局部渐进稳定, 定理 2 得证.

故当 $R_0 \leq 1$ 时, 只存在无传播平衡点 P , 即随着时间的流逝, 负面思想会逐渐淡出人们的视野进而消失. 当 $R_0 > 1$ 时, 除了无传播平衡点 P 外, 还存在唯一的传播平衡点 Q , 即随着时间的流逝, 如果不采取相应的干预措施, 负面思想传播将趋于稳定, 并在网络中长期存在.

4 仿真结果分析

由以上分析可知, 传播阈值 R_0 直接影响了负面思想传播的范围和态势, 对影响负面思想传播的各因素进行分析, 是控制负面思想传播的重要依据. 由传播阈值 R_0 的表达式可知, R_0 受多个参数的影响, 分析这些参数对 R_0 的影响, 对降低负面思想传播具有重要的意义.

为了验证理论分析的正确性, 模拟各个状态的网民随时间的变化情况, 观察当 $R_0 \leq 1$ 和 $R_0 > 1$ 时, 式(5)的仿真结果, 取各状态的初始值分别为 $I(0) = 0.3, H(0) = 0.4, S(0) = 0.3, R(0) = 0$.

实验 1 取 $\alpha = 0.5, \beta = 0.8, \epsilon = 0.05, \gamma = 0.3, \eta = 0.1$, 计算得 $R_0 = \alpha / (\beta + \epsilon) = 0.59$. 根据定理 1 可知, 式(5)在无负面平衡点处 $P(0, 0, 0)$ 局部渐进稳定, 其仿真结果如图 2 所示.

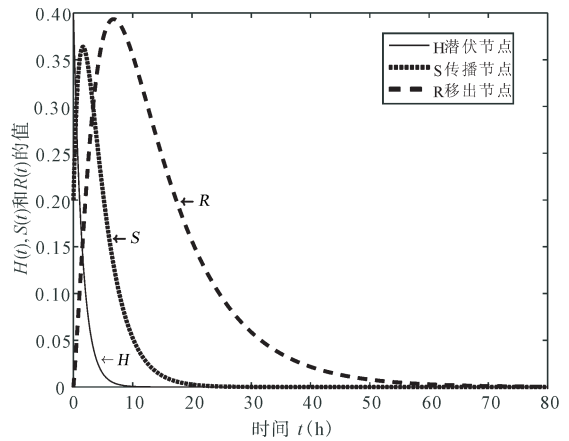


图 2 $R_0 \leq 1$ 时, 系统的演变
Fig. 2 The evolution of the system when $R_0 \leq 1$

由图 2 可以看出, 当某一负面思想开始传播后, 传播者 S 和移出者 R 就先由给定的初始值 $S(0) = 0.3, R(0) = 0$ 迅速增加, 当 $t = 2.89$ 时传播者 S 已经达到最大值 $S(2.89) = 0.36$, 当 $t = 11.53$ 时移出者 R 已经达到最大值 $R(11.53) = 0.39$, 然后再缓慢减小到无负面平衡点 $P(0, 0, 0)$, 最终稳定在平衡点 P , 此时传播阈值 $R_0 = 0.59 < 1$, 网民对负面思想的传播先增加后减小到无负面平衡点 P . 说明他们对该负面思想的关注度出现疲态, 并随着时间的推移, 逐渐平息, 直到最后该负面思想退出网民的视野, 即负面思想传播消失.

实验 2 取 $\alpha = 0.8, \beta = 0.1, \epsilon = 0.04, \gamma = 0.3, \eta = 0.1$, 计算得 $R_0 = \alpha / (\beta + \epsilon) = 5.71$. 由定理 2, 可知式(5)在负面平衡点 $Q(0.302, 0.101, 0.423)$ 处局部渐进稳定, 即负面思想的传播不会消失, 而是稳定在 Q 点, 稳定的模拟结果如图 3 所示.

由图 3 可以看出, 当某一负面思想在网民中开始传播后, 潜伏者 H 和传播者 S 由初始值 $H(0) = 0.4, S(0) = 0.3$ 逐渐减小, 当 $t = 25.92$ 时潜伏者 H 减小到稳定值 $H(25.92) = 0.302$, 当 $t = 18.75$ 时传播者 S 减小到稳定值 $S(18.75) = 0.101$, 移出者 R 先由初始值 $R(0) = 0$ 逐渐增加, 当 $t = 23.72$ 时增加到稳定值 $R(23.72) = 0.423$, 最终整个系统稳定在有负面思想传播的平衡点 $Q(0.302, 0.101, 0.423)$, 不会消失, 此时传播阈值 $R_0 = 5.71 > 1$, 负面思想始终在网民中存在, 并不停地传播, 并且各个状态的网民所占的比例是固定的, 说明他们对此负面思想没有概念, 缺乏自我约束的意识, 所以他们对此负面思想随意的传播, 导

致系统中的传播者 S 始终存在, 并且系统最终稳定在平衡点 Q .

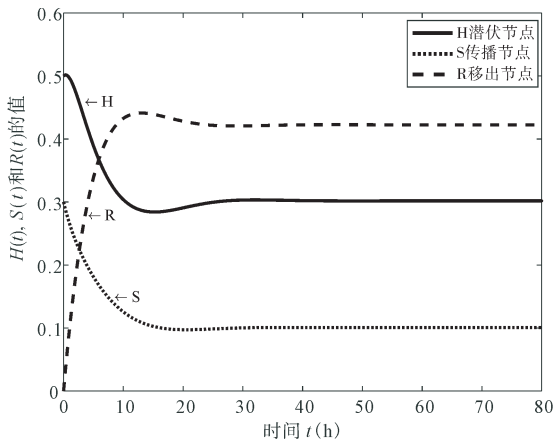


图 3 $R_0 > 1$ 时, 系统的演变

Fig. 3 The evolution of the system when $R_0 > 1$

由图 2 和图 3 对比可知, 图 2 中 $R_0 < 1$, 此时负面思想先迅速增加后逐渐减小, 最终达到无负面思想传播的平衡状态 P , 系统达到无负面思想的稳定状态. 图 3 中 $R_0 > 1$, 此时负面思想逐渐减小, 最后稳定在负面平衡点 Q , 所以此负面思想在系统中并不会消失, 而是稳定在平衡点 Q . 由此可知, 对于有负面思想传播的稳定系统, 减小 R_0 的值, 可以使有负面思想传播系统中潜伏节点 H 和传播节点 S 减小, 若 R_0 的值减小到小于 1, 则它可以转变成无负面思想传播的稳定系统.

实验 3 取 $\alpha = 0.8, \beta = 0.1, \epsilon = 0.2, \gamma = 0.3, \eta = 0.1$, 计算得 $R_0 = \alpha / (\beta + \epsilon) = 2.67$. 增加 ϵ 得到的模拟结果如图 4 所示.

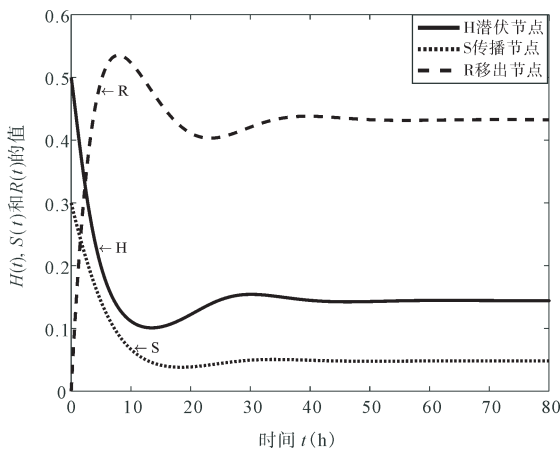


图 4 $\epsilon = 0.2$ 时, 系统的演变

Fig. 4 The evolution of the system when $\epsilon = 0.2$

图 3 中的平衡点 $Q(0.302, 0.101, 0.423)$ 、传播阈值 $R_0 = \alpha / (\beta + \epsilon) = 5.71$ 与图 4 中的平衡点

$Q(0.144, 0.048, 0.433)$ 传播阈值 $R_0 = \alpha / (\beta + \epsilon) = 2.67$ 对比可以看出, 当其他参数不变时, 增加 ϵ 的值会使 R_0 的值减小, 并且网络中潜伏节点 H 由 0.302 减小到 0.144, 传播节点 S 由 0.101 减小到 0.048, 由此可知增加潜伏者到移出者的转移速率 ϵ , 可以使得系统中的潜伏节点 H 和传播节点 S 明显减小, 即网民具有较强的分辨负面思想的能力, 并且有很好的自我约束意识, 他们能够判断网络中传播的思想是否是负面思想, 并及时做出相应的决断, 所以系统中的传播者相对比较少, 系统最终稳定在有负面思想传播的平衡点 $Q(0.144, 0.048, 0.433)$.

实验 4 取 $\alpha = 0.15, \beta = 0.1, \epsilon = 0.04, \gamma = 0.3, \eta = 0.1$, 计算 $R_0 = \alpha / (\beta + \epsilon) = 1.07$. 减小 α 的值得到的模拟结果如图 5 所示.

图 3 中的平衡点 $Q(0.302, 0.101, 0.423)$ 、传播阈值 $R_0 = \alpha / (\beta + \epsilon) = 5.71$ 和图 5 中的平衡点 $Q(0.024, 0.008, 0.034)$ 传播阈值 $R_0 = \alpha / (\beta + \epsilon) = 1.07$ 对比可以看出, 当其他参数不变时, 减小 α 的值会使传播阈值 R_0 的值由 5.71 减小到 1.07, 网络中的潜伏节点 H 由 0.302 减小到 0.024, 传播节点 S 由 0.101 减小到 0.008, 移出者 R 由 0.423 减小到 0.034, 即网络中无知者 I 的数量 0.174 增加到 0.934, 由此可知, 减小比例系数 α , 可以使传播阈值 R_0 减小, 此时 R_0 的值接近 1, 系统中的传播节点几乎为 0, 即通过减小 α , 使网民无法看到有关负面思想的相关信息, 这样他们对此负面思想的传播就会明显减小, 最终系统稳定在平衡点 $Q(0.024, 0.008, 0.034)$.

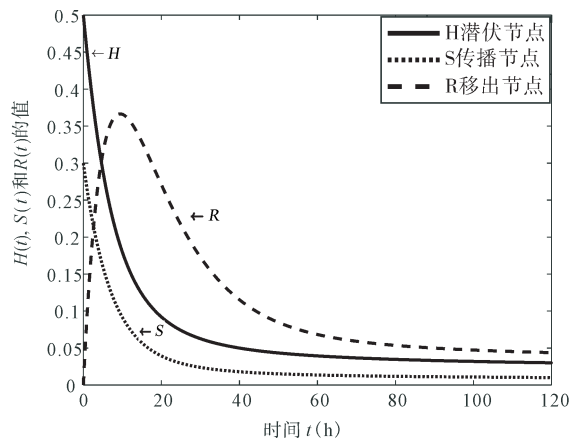


图 5 $\alpha = 0.15$ 时系统的演变

Fig. 5 The evolution of the system when $\alpha = 0.15$

以上仿真结果表明, 当其他参数不变时, 通过增加潜伏者到移出者的转移速率 ϵ 和减小比例系

数 α 的值都可以减小 R_0 的取值,从而使潜伏节点 H 和传播节点 S 明显减小,即通过增加 ϵ 和减小 α 的值可以有效的控制负面思想在网络中的传播.因此,本文可以为相关部门采取相应的措施,提供了理论依据.

5 结 论

本文从数学建模的角度研究了负面思想传播的机制及原理,建立 IHSRI 传播模型,计算出模型的平衡点并分析证明其稳定性,并用模拟仿真证明理论分析的正确性.

通过理论分析和数值模拟发现,负面思想在网络中的流传与否取决于基本再生数 R_0 的取值.为了有效控制负面思想的传播,就要尽力减小 R_0 的值,要达到此目的可以增大 ϵ 和减小 α 的值.现实生活中负面思想传播泛滥,特别是在网民的主力军即大学生中传播迅猛,因此学校、政府及网管等相关部门应采取相应的措施,对负面思想的传播起到及时有效的抑制作用.具体做法如下,首先,加强大学生的思想教育,可以使 ϵ 的值增加,进而使 R_0 的值减小;其次,加强学校积极正确的思想引导工作,可以使 ϵ 的值增加, R_0 的值减小;再次,增强大学生的自我约束意识,同样也可以使 ϵ 的值增加, R_0 的值减小;最后,加强网络管控,可以使 α 的值减小,也可以使 R_0 的值减小.

参考文献:

- [1] Foroutan N, Hamzeh A. Discovering the hidden structure of a social network: a semi supervised approach [J]. IEEE Trans Com Soc Syst, 2017, 99: 1.
- [2] Wang Z, Sun L, Zhang M, et al. Propagation- and mobility-aware D2D social content replication [J]. IEEE Trans Mobile Comput, 2017, 16: 1107.
- [3] 蒋丽丽, 陈国彬, 张广泉. 一种考虑网络能效优化的队列管理方法[J]. 四川大学学报:自然科学版, 2017, 54: 499.
- [4] 曹玉林, 马建萍, 赵焱鑫. 基于脉冲微分方程的移动自组网病毒传播免疫模型[J]. 四川大学学报:自然科学版, 2016, 53: 295.

- [5] Xu S. Research on ideological and political education of southwest petroleum university students in Micro Blog Era [J]. Creative Education, 2016, 7: 287.
- [6] Zhang L. Analysis on penetrative effects of new media on ideological and political education of universities and colleges [J]. Open Journal of Social Sciences, 2015, 3: 207.
- [7] Ren J G, Yang X F, Yang L X, et al. A delayed computer virus propagation model and its dynamics [J]. Chaos Solitons Fractals, 2012, 45: 74.
- [8] Ágnes Bodó, Simon P L. Analytic study of bifurcations of the pairwise model for sis epidemic propagation on an adaptive network [J]. Differ Equ Dyn Syst, 2017, 4: 1.
- [9] Mishra B K, Pandey S K. Dynamic model of worms with vertical transmission in computer network [J]. Appl Math Comput, 2011, 217: 8438.
- [10] Liu Q, Li T, Sun M. The analysis of an SEIR rumor propagation model on heterogeneous network [J]. Phys A Stat Mech Appl, 2016, 469: 62.
- [11] Chen F, Chen T, Zheng X. An analysis of internet public opinion propagation behavior based on a new SEIR-S model [J]. Inf Doc Serv, 2014, 12: 24.
- [12] Chen F, Chen T. Research on derivative effects of network public opinions based on SEIRS propagation model [J]. J Intell, 2014, 33: 1057.
- [13] Dong Y, Ding Z, Chiclana F, et al. Dynamics of public opinions in an on-line and offline social network [J]. IEEE Trans Big Data, 2017, 99: 1.
- [14] Liu Y, Xu S, Tourassi G. Detecting rumors through modeling information propagation networks in a social media environment [J]. IEEE Trans Comput Soc Syst, 2016, 99: 1.
- [15] 索琪, 郭进利. 超网络中的舆情传播模型及仿真研究 [J]. 计算机应用研究, 2017, 9: 1.
- [16] 韩忠明, 张梦, 谭旭升, 等. 基于自激点过程的网络热点话题传播模型[J]. 计算机学报, 2016, 39: 704.
- [17] Tan Z, Ning J, Liu Y, et al. ECRModel: an elastic collision based rum-or propagation model in online social networks [J]. IEEE Access, 2016, 4: 6105.
- [18] 王永友, 宋斌. 论自媒体时代的意识形态传播[J]. 重庆邮电大学学报: 社会科学版, 2016, 2: 66.

引用本文格式:

中文: 蔡秀梅, 张光建, 黄贤英, 等. 负面思想传播的 IHSRI 模型研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2018, 55: 971.

英文: Cai X M, Zhang G J, Huang X Y, et al. A study on IHSRI model of negative ideological propagation [J]. J Sichuan Univ: Nat Sci Ed, 2018, 55: 971.