

复杂系统与复杂性科学

Complex Systems and Complexity Science

ISSN 1672-3813, CN 37-1402/N

《复杂系统与复杂性科学》网络首发论文

题目：基于二元对立信息的谣言传播模型研究
作者：刘云飞，宾晟，孙更新
收稿日期：2024-05-29
网络首发日期：2024-09-26
引用格式：刘云飞，宾晟，孙更新. 基于二元对立信息的谣言传播模型研究[J/OL]. 复杂系统与复杂性科学. <https://link.cnki.net/urlid/37.1402.N.20240926.1053.006>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于二元对立信息的谣言传播模型研究

刘云飞¹, 宾晟¹, 孙更新¹

(1. 青岛大学计算机科学技术学院, 山东 青岛 266071)

摘要：针对社交网络中部分个体在接触到谣言信息后会核实其真实性，并进行反向传播辟谣信息来阻止谣言扩散的现象，提出了一种新的二元对立信息传播模型——CASEIR 模型。该模型还引入了传播疲劳机制，通过仿真分析了不同网络结构、网络平均度以及辟谣启动时间对谣言和辟谣信息的影响。实验结果表明，平均度越高，辟谣时间的不同带来的差异越大；提高谣言逆转率、谣言置换率以及信息核实率均能有效控制谣言传播，为社交网络中的谣言防治提供了参考。

关键词：二元竞争传播；谣言传播；辟谣；动力学模型

中图分类号：TP391;G202

文献标识码：A

Research on the Model of Rumor Propagation Based on Binary Opposing Information

Liu Yunfei¹, Bin Sheng¹, Sun Gengxin¹

(1. College of Computer Science & Technology, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: In response to the phenomenon where some individuals on social networks verify the authenticity of rumors and then actively disseminate counter-rumors to prevent further spread, a new binary opposition information dissemination model, the CASEIR model, has been proposed. The model also incorporates a transmission fatigue mechanism and analyzes through simulations the effects of different network structures, average degree, and counter-rumor initiation time on the spread of rumors and counter-rumor information. The experimental results show that the higher the average degree, the greater the impact of varying counter-rumor initiation times. Increasing the rumor reversal rate, rumor replacement rate, and information verification rate can effectively control the spread of rumors, providing a reference for the prevention and control of rumors in social networks.

Keywords: binary competitive propagation; rumor propagation; debunking; dynamic model

0 引言

谣言是指在没有确凿证据支持的情况下，通过口耳相传或媒体传播的未经证实的信息^[1]。现如今社交媒体的即时性极大地加速了信息的传播，使谣言能在短时间内广泛扩散。谣言的传播更多地是由于深层的社会心理因素所驱动，如公众的恐慌情绪和群体行为。这些因素共同作用，使得谣言在网络世界中像病毒一样迅速蔓延，严重威胁到个人的声誉以及社会稳定^[2]。例如，2023年8月，日本宣布将从福岛核设施排放核污染水入海，此决定引发全球持续广泛关注和热议。这一消息引发了一波“抢盐风潮”，很多人在未完全了解情况的情况下就进行了“跟风”购买。直到中盐集团发出声明，这一现象才得到缓解。

现有的谣言传播模型主要是基于传染病动力学的，很多研究开始结合不同的网络拓扑结构进行探索，Xing 等人^[3]提出的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，以及 Lu 等^[4]对基于无标度网络的研究。顾亦然等^[5]在 SIR 模型基础上引入潜伏节点，建立了 SEIR 模型，还探索了抑制谣言传播的新策略。2014 年出现了多个新的研究方向，例如王超等^[6]引入的遏制和遗忘机理，Zan 等^[7]的反击机理和 SICR 模型，以及 Wang 等^[8]关于识破谣言群体的 SIRaRu 模型研究。Wan 等人^[9]提出了一个改进的谣言传播模型，定义为传播者-无知者-消除者-谣言停止者-清除停止者（SIERsEs）模型。还有部分人考虑了时间因素，如 Cheng 等^[10]提出了谣言传播的优化控制问题，比较了时间延迟、优化控制和媒体网络对谣言传播的影响；Qiu 等^[11]探讨了时间依赖性扩散行为对社交网络中谣言传播的影响，考虑了现实中的外部力量（如权威机构）和内部力量（人的遗忘特性）在谣言传播中的作用，提出了一种类似 SIR 的谣言传播模型，来研究其对谣言传播动态的影响。

与单一谣言的传播不同，多个谣言在传播过程中可能会相互竞争。Zan^[12]构建了 DSIR 模型来研究两个发生时间不同、互不相关的谣言的传播。Liu 等人^[13]指出了竞争性信息状态转换概率对传播结果的重要影响。Zhu 等人^[14]构建了一个全新的 DMCU 模型，用来研究原始错误信息与其更新后的信息之间的竞争传播。Huo^[15]提出了一种 I2SR 谣言传播模型，考虑节点的活跃性，将传播者分为高活跃传播者和低活跃

收稿日期：2024-05-29；修回日期：2024-08-02

基金项目：教育部人文社会科学规划基金项目（21YJA860001）；山东省自然基金面上项目（ZR2021MG006）

作者简介：刘云飞（1999-），男，山东青岛人，硕士研究生，主要研究领域为复杂网络。

通信作者：宾晟（1979-），女，山东淄博人，副教授，主要从事复杂网络研究，近年来着重于探索复杂网络中传播动力学及相关传播模型。

传播率。Zhang 和 Zhu^[16]提出了 I2S2R 谣言传播模型，使用非线性函数量化了两种谣言的传播速率，并假设一种谣言可以由另一种谣言产生。Wang 等人^[17]扩展了经典的 2SI2R 模型，建立了一个 3SI3R 模型，将人群分为七个群体，并引入了遗忘机制和时间差来研究相互促进谣言的传播规律。

在实际场景中，对谣言的核实和辟谣行为至关重要，当接触到谣言时，一部分人会立即将其传播，而另一部分人则会首先核实信息的真实性。一旦确认为谣言，他们会反向传播真实信息，以防止谣言的进一步扩散。这类人的行为动机是复杂多样的：他们可能是基于个人的认知习惯驱使的信息验证行为；也可能出于对谣言可能带来不良影响而担忧的社会责任感；或是由于接受到的信息与既有知识或信仰相悖产生的认知失调；特别是在互联网上，这种行为显得尤为关键，因为它为遏制谣言扩散和维护网络社区安全提供了重要手段。为了填补这一研究空白，本文提出了一个全新的谣言传播模型——CASEIR 模型（CounterAttack-SEIR 模型）。与现有模型相比，CASEIR 模型考虑了辟谣时间滞后以及接触到谣言后选择核实其真实性并进行辟谣的人群等复杂因素。同时还考虑到由于信息过载^[18]，人们可能会随着时间推移减少乃至不再传播信息，因此模型引入了传播疲劳函数，通过这种方式，CASEIR 模型不仅能更准确地描述真实世界中的谣言传播行为，还能为制定有效的谣言治理策略提供理论依据。

1 CASEIR 谣言传播模型

在数字化时代，互联网和社交媒体的发展极大加快了信息的传播速度，使得对谣言的传播机制进行深入研究显得尤为重要。Allport 和 Postman^[19]指出，谣言传播的基本条件包括事件的模糊性。模糊性凸显了公众对于引发谣言的源头事件相关信息了解的不足，这常常导致公众在接触谣言信息时盲目传播，而当真相大白后，则可能停止传播谣言甚至转而进行辟谣。现实中的案例研究表明，在网络谣言的传播过程中，除了传播谣言的公众，还有致力于传播真相和清除谣言的人群。在这种背景下，现有的谣言传播模型往往未能全面考虑到公众对信息真实性核实的行为。本文提出的 CASEIR 谣言传播模型旨在全面捕捉这一现象，并通过模拟社交网络中的谣言传播、核实及辟谣行为来填补现有研究的空白。

首先假设人群中有谣言和辟谣信息在传播，整个群体被分为七个不同类别： S （易感者）、 E_1 （谣言接触者）、 E_2 （辟谣信息接触者）、 I_1 （谣言传播者）、 I_2 （辟谣信息传播者）、 R_1 （谣言免疫者）、 R_2 （辟谣信息免疫者）。

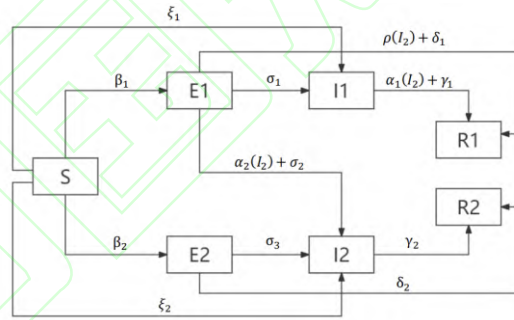


图 1 CASEIR 谣言传播模型

Fig.1 CASEIR rumor propagation model

CASEIR 模型的状态转移关系如图 1 所示，其中涉及的参数如表 1 所示，所有参数的取值范围为 $[0,1]$ ，该模型的传播规则及其表达式可以总结如下：

- 1) 当易感者 S 接触到谣言传播者 I_1 时，有概率 β_1 被谣言影响转变为 E_1 。同时，当接触到辟谣信息传播者 I_2 时，有概率 β_2 被辟谣信息影响转变为 E_2 。此外，易感者还有一定概率 ξ_1 直接转变为谣言传播者 (I_1) 和概率 ξ_2 直接转变为辟谣信息传播者 (I_2)。
- 2) 谣言接触者 E_1 有一定概率 σ_1 发展成为谣言传播者 I_1 、 δ_1 概率直接转变为谣言者免疫者 R_1 或概率 σ_2 成为辟谣信息传播者 I_2 （核实信息后进行辟谣）。在 I_2 的影响下， E_1 有概率 α_2 转变为 I_2 来辟谣，也有概率 ρ 转变为 R_1 不再传播谣言；辟谣信息接触者则有一定概率 σ_3 转变为辟谣信息传播者 I_2 ，或概率 δ_2 直接变为 R_2 ，没有进入传播状态。
- 3) 谣言传播者 I_1 由于遗忘机制，有概率 γ_1 直接恢复为 R_1 ，也有 α_1 概率与 I_2 接触后恢复为 R_1 ；辟谣信息传播者 I_2 同样由于遗忘机制，有 γ_2 概率恢复为 R_2 。同时两类传播者均有 $\phi(t)$ 概率不再传播信息。

基于上述状态间转移规则及系统动力学，CASEIR 模型的动力学方程如式 (1)：

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta_1 S(t)I_1(t)\bar{k} - \beta_2 S(t)I_2(t)\bar{k} - \xi_1 S(t) - \xi_2 S(t) \\ \frac{dE_1(t)}{dt} = \beta_1 S(t)I_1(t)\bar{k} - \sigma_1 E_1(t) - \sigma_2 E_1(t) - \alpha_2 E_1(t)I_2(t)\bar{k} - \delta_1 E_1(t) - \rho E_1(t)I_2(t)\bar{k} \\ \frac{dE_2(t)}{dt} = \beta_2 S(t)I_2(t)\bar{k} - \sigma_3 E_2(t) - \delta_2 E_2(t) \\ \frac{dI_1(t)}{dt} = \sigma_1 E_1(t) + \xi_1 S(t) - \gamma_1 I_1(t) - \alpha_1 I_1(t)I_2(t)\bar{k} - \phi(t)I_1(t) \\ \frac{dI_2(t)}{dt} = \sigma_2 E_1(t) + \sigma_3 E_2(t) + \xi_2 S(t) + \alpha_2 E_1(t)I_2(t)\bar{k} - \gamma_2 I_2(t) - \phi(t)I_2(t) \\ \frac{dR_1(t)}{dt} = \sigma_1 E_1(t) + \gamma_1 I_1(t) + \alpha_1 I_1(t)I_2(t)\bar{k} + \rho E_1(t)I_2(t)\bar{k} + \phi(t)I_1(t) \\ \frac{dR_2(t)}{dt} = \gamma_2 I_2(t) + \delta_2 E_2(t) + \phi(t)I_2(t) \end{cases} \quad (1)$$

式中 $S(t)$ 、 $E_1(t)$ 、 $E_2(t)$ 、 $I_1(t)$ 、 $I_2(t)$ 、 $R_1(t)$ 、 $R_2(t)$ 分别为 t 时刻易感者、谣言接触者、辟谣信息接触者、谣言传播者、辟谣信息传播者、谣言免疫者、辟谣信息免疫者的相对密度；其中传播疲劳函数 $\phi(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ ；假设总人口保持不变，故 7 类个体的密度之和为 1，即 $S(t) + E_1(t) + E_2(t) + I_1(t) + I_2(t) + R_1(t) + R_2(t) = 1$ 。结合方程组(1)可知 $(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ 是该系统的无信息扩散平衡点，在初始时刻 $t=0$ 时，传播疲劳函数 $\phi(0) = 1 - e^{-\lambda t} = 0$ ，因此可简化在该平衡点处的雅可比矩阵为

$$J(E0) = \begin{bmatrix} -\xi_1 - \xi_2 & 0 & 0 & -\beta_1 S\bar{k} & -\beta_2 S\bar{k} \\ 0 & -\sigma_1 - \sigma_2 - \delta_1 & 0 & \beta_1 S\bar{k} & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_3 - \delta_2 & 0 & \beta_2 S\bar{k} \\ \xi_1 & \sigma_1 & 0 & -\gamma_1 & 0 \\ \xi_2 & \sigma_2 & \sigma_3 & 0 & -\gamma_2 \end{bmatrix}, \text{ 随后可得矩阵 } J(E0) \text{ 的特征方程为}$$

$$|J(E0) - \lambda I| = \begin{vmatrix} -\sigma_1 - \sigma_2 - \delta_1 - \lambda & 0 & 0 & \beta_1 S\bar{k} & 0 \\ 0 & -\sigma_3 - \delta_2 - \lambda & 0 & 0 & \beta_2 S\bar{k} \\ \sigma_1 & 0 & -\gamma_1 - \lambda & 0 & 0 \\ \sigma_2 & 0 & 0 & -\gamma_2 - \lambda & 0 \end{vmatrix} = (-\sigma_1 - \sigma_2 - \delta_1 - \lambda)(-\gamma_1 -$$

$\lambda)(-\sigma_3 - \delta_2 - \lambda)(-\gamma_2 - \lambda) - (\beta_1 S\bar{k})(\beta_2 S\bar{k})(\sigma_1 \sigma_3)$ ，因此，根据 Hurwitz 的方法，我们可以得到基本再生数

$$R_0 = \max\left(\frac{\beta_1 S\bar{k}}{\gamma_1 + \sigma_1 + \sigma_2 + \delta_1}, \frac{\beta_2 S\bar{k}}{\gamma_2 + \sigma_3 + \delta_2}\right)$$

表 1 参数说明

Table 1 Parameter description

参数名	参数含义
β_1	谣言接触率
β_2	辟谣信息接触率
ξ_1	谣言传播转化率
ξ_2	辟谣信息传播转化率
σ_1	谣言犹豫转化率
σ_2	谣言逆转率
σ_3	辟谣信息犹豫转化率
γ_1	谣言传播者恢复为谣言免疫者的概率
γ_2	辟谣信息传播者不再传播的概率
δ_1	谣言接触者直接转变为谣言免疫者的概率
δ_2	辟谣信息接触者直接转变为免疫者的速率
α_1	谣言传播者与辟谣信息传播者接触后转变为谣言免疫者的概率
α_2	谣言置换率
ρ	谣言接触者与辟谣信息传播者接触后转变为谣言免疫者的概率
λ	传播疲劳系数
\bar{k}	网络平均连接度

2 数值模拟和分析

2.1 仿真及参数选择

在本节中,我们将使用 Runge-Kutta 方法进行模拟以求解微分方程组(1),并研究 CASEIR 模型的特性。本实验构建了一个包含 $N=10^6$ 个节点、平均度 $\bar{k}=20$ 的同质网络。Soroush Vosoughi 的研究^[20]发现虚假新闻比真实新闻传播得更广泛、更迅速,尤其是对于包含新奇信息的虚假新闻,所以将谣言接触率 β_1 和辟谣信息接触率 β_2 分别被设定为 0.06 和 0.04,以反映谣言在初期相对较快的传播速度。

图 2 显示了在参数设置为 $\beta_1=0.06$ 、 $\beta_2=0.04$ 、 $\sigma_1=0.08$ 、 $\sigma_2=0.005$ 、 $\sigma_3=0.06$ 、 $\gamma_1=\gamma_2=0.02$ 、 $\delta_1=\delta_2=\xi_1=\xi_2=\lambda=0.001$ 、 $\alpha_1=0.02$ 、 $\alpha_2=\rho=0.01$ 时,七个不同类别(易感者、谣言接触者、辟谣信息接触者、谣言传播者、辟谣信息传播者、谣言免疫者、辟谣信息免疫者)随时间的密度变化。初始条件下,网络中谣言传播者的密度为 $I_1(0)=\frac{10}{10^6}$ 、易感者 $S(0)=\frac{10^6-10}{10^6}$,其余均为 0。现实生活中辟谣往往都是在谣言传播一定时间后才会开始,因此假定辟谣信息的传播从 $t=10$ 开始,实验结果显示,随着时间的推移,谣言接触者数量逐渐增多,导致易感者密度初期迅速下降,达到一定峰值后逐渐稳定。随着接触谣言的人越来越多,传播谣言者数量也相应急剧增加。然而等当辟谣信息介入后, E_1 和 I_1 群体数量增幅变缓并随即开始减少,表明辟谣信息的介入有效抑制了谣言扩散。 I_2 的密度峰值大于 E_2 ,这是因为有大量谣言接触者,其中有一部分人会对谣言进行核实或受辟谣者影响,从而进行反向辟谣来阻止谣言扩散。

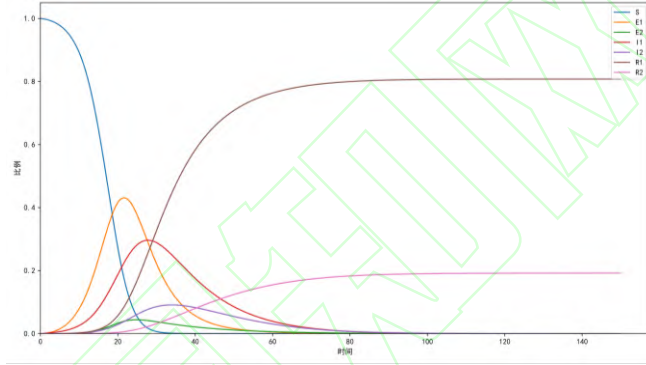


图 2 谣言传播过程中 7 类个体的密度随时间变化

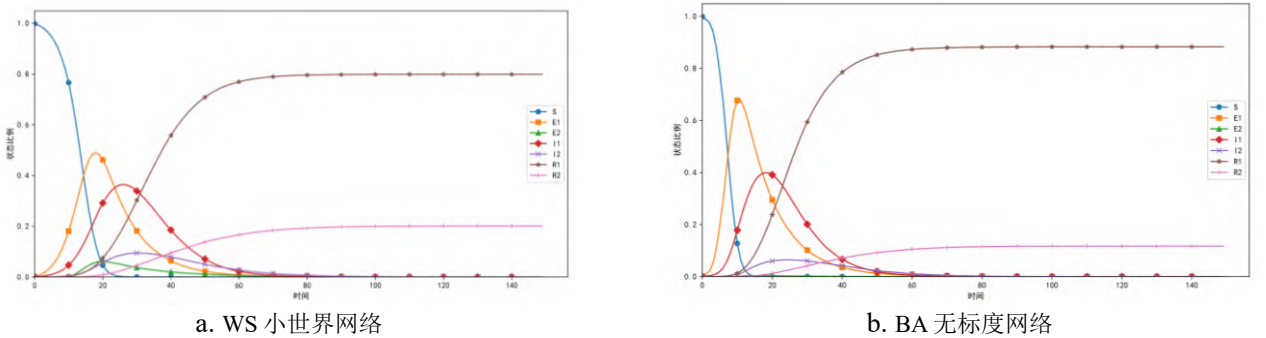
Fig.2 The densities of seven groups in CASEIR rumor spreading model.

2.2 不同网络结构对信息传播的影响

2.2.1 理论网络模型的仿真分析

图 3a 和图 3b 是在参数设置为 $\beta_1=0.06$ 、 $\beta_2=0.04$ 、 $\sigma_1=0.08$ 、 $\sigma_2=0.005$ 、 $\sigma_3=0.06$ 、 $\gamma_1=\gamma_2=0.02$ 、 $\delta_1=\delta_2=\xi_1=\xi_2=\lambda=0.001$ 、 $\alpha_1=0.02$ 、 $\alpha_2=\rho=0.01$ 的情况下分别对 WS 小世界网络、BA 无标度网络进行蒙特卡洛模拟实验,旨在探索该模型在不同的网络拓扑中的传播特性。

假设辟谣信息的传播始于第 10 个时间步,首先生成了具有 10^6 个节点的 WS 小世界网络、BA 无标度网络,其中每个节点的平均度为 10。在相同参数设置下,实验结果显示,在传播初期,谣言可以无竞争地通过网络扩散,并建立较为坚固的根基;而辟谣信息在初始阶段尚未出现,因此其传播面临的挑战就更困难。在 BA 无标度网络中这种影响尤为明显,因为在初始阶段,谣言有可能已经通过枢纽节点快速扩散。相比之下,在 WS 小世界网络中,虽然谣言同样有 10 步的“优势期”,但由于其高聚类系数和短平均路径长度的特点,辟谣信息开始传播后也能较快地影响网络。



a. WS 小世界网络

b. BA 无标度网络

图 3 CASEIR 模型在 WS 网络和 BA 网络下的模型仿真

Fig.3 Rumor spreading in WS network, BA scale-free Network.

2.2.2 基于实际社交网络的仿真分析

在相同初始参数下对现实中的真实社交网络——Facebook 社交网络上收集的 ego-Facebook 网络和 Twitter 社交网络上收集的 ego-Twitter 网络进行研究，该数据来源于斯坦福大型网络数据集集合 (<http://snap.stanford.edu/data/>)。

图 4a 中在 ego-Facebook 网络进行模拟，可以观察到谣言的传播快速且广泛，这可能与 Facebook 上用户间紧密的社交联系以及基于共同兴趣的群体结构有关。图 4b 中 ego-Twitter 网络的仿真结果显示与 ego-Facebook 网络相似的传播特征。此外，Twitter 用户的快速滚动时间线可能导致信息迅速被新内容所替代，减少了辟谣信息的可见性。这表明在信息快速流动的平台上，即使辟谣信息及时介入，也可能难以阻止谣言传播。

因此相关部门要针对不同社交网络制定辟谣策略，类似 Facebook 此类紧密联系网络，需要尽早介入并鼓励和教育社群成员参与辟谣，利用社群的力量来减缓谣言的扩散；类似 Twitter 此类开放快速平台，则需要增加辟谣信息的可见性和连续性，比如通过调整推荐系统算法确保辟谣信息能够在用户信息流中获得更高的优先级和更长的展示时间。

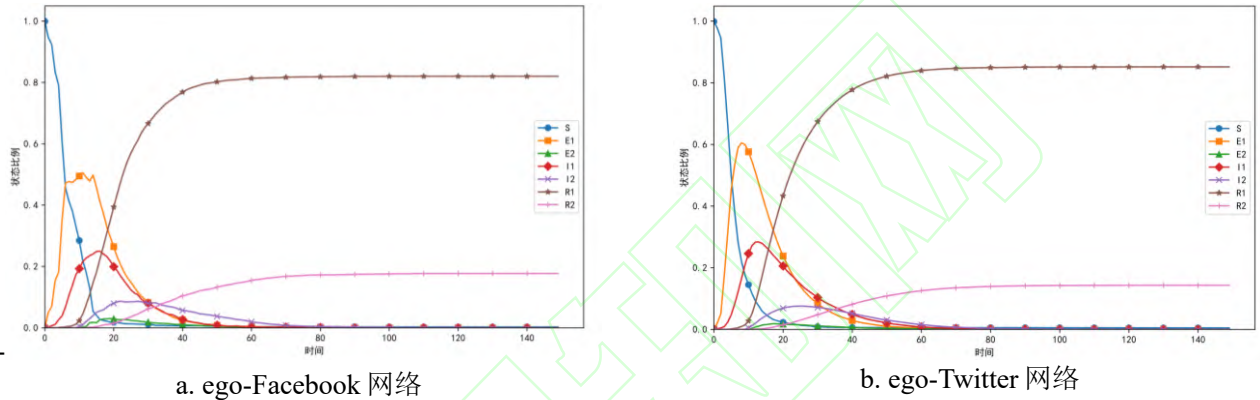


图 4 CASEIR 模型在 ego-Facebook 和 ego-Twitter 网络下的模型仿真

Fig.4 Rumor spreading in ego-Facebook and ego-Twitter.

2.3 传播疲劳对谣言传播密度的影响

在初始参数设为固定值 $\beta_1 = 0.06$ 、 $\beta_2 = 0.04$ 、 $\sigma_1 = 0.08$ 、 $\sigma_2 = 0.005$ 、 $\sigma_3 = 0.06$ 、 $\gamma_1 = \gamma_2 = 0.02$ 、 $\delta_1 = \delta_2 = \xi_1 = \xi_2 = 0.001$ 、 $\alpha_1 = 0.02$ 、 $\alpha_2 = \rho = 0.01$ 通过数值仿真以探索传播疲劳系数 λ 对易感者 S 和谣言传播者 I_1 密度影响，如图 5a 及图 5b 所示。随着传播疲劳系数 λ 的增加，系统趋于稳定后，易感者 (S) 的比例大幅增加，越来越多的人未接触过相关谣言。对于谣言传播者 I_1 ，随着传播疲劳系数的增加而显著降低其峰值密度，这表明传播疲劳可以有效减缓谣言的传播范围。

本实验验证了在信息传播模型中引入传播疲劳机制的有效性和创新性。通过适当调整参数 λ ，可以显著影响谣言的传播范围，从而为制定基于传播疲劳的信息控制策略提供了理论依据。在实际应用中，可以通过增加信息验证的复杂度、设置信息传播的时间间隔等措施来有效抑制谣言扩散，在传播链中引入必要的验证步骤提升信息传播门槛，从而有效地延缓并减少谣言的传播。

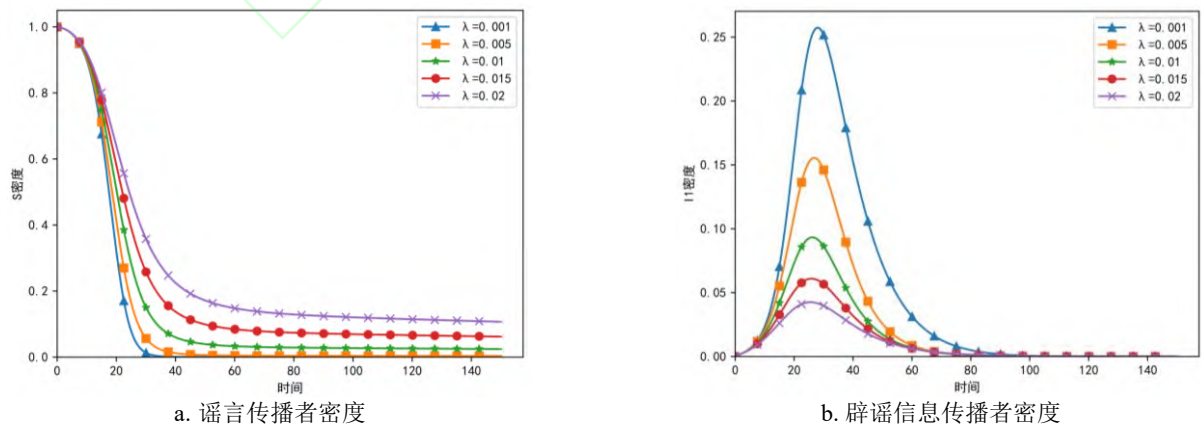


图 5 传播疲劳系数对 S 和 I_1 密度的影响

Fig.5 The effect of propagation fatigue coefficient on the densities of S and I_1 .

2.4 谣言逆转率对谣言传播的影响

据图 6a 及图 6b 显示, 增加谣言逆转率 σ_2 能有效降低谣言传播者 I_1 的峰值密度。当 σ_2 从 0.001 提升至 0.01 时, I_1 的峰值密度从 35.08%降低到 25.45%, I_2 密度则上升了 7.89%, 表明提升谣言逆转率对于控制谣言传播具有关键作用。然而当提升 σ_2 值至 0.02 时, I_1 的峰值密度下降趋势减缓, 这表明提高谣言逆转率对抑制谣言传播的边际效应存在一定的阈值。因此, 社会各界应当加强公众的信息素养教育, 提升个体辨识谣言与辟谣信息的能力。这也会改善如今充斥着各种流言蜚语的病态网络舆论环境, 并减轻政府和有关部门对舆情谣言控制的成本。

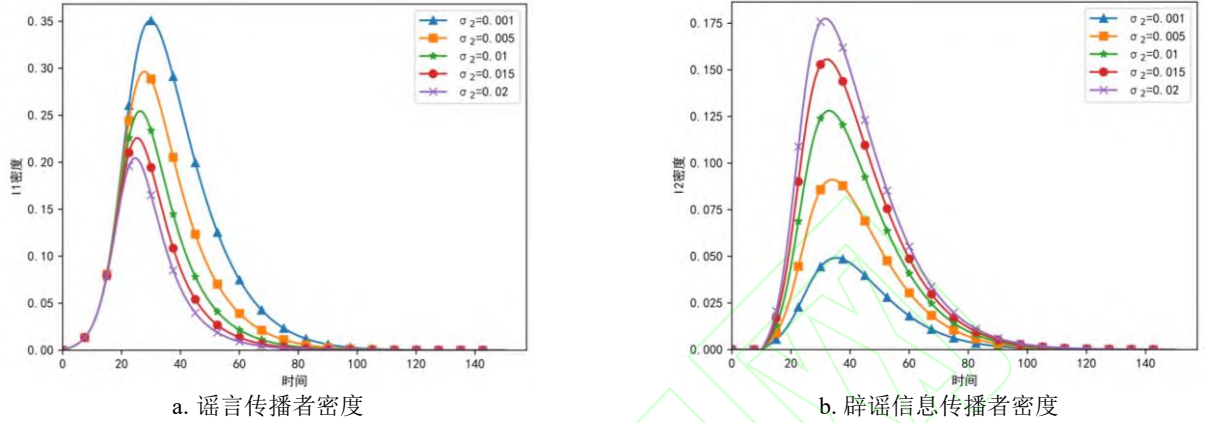


图 6 谣言逆转率对 I_1 和 I_2 密度的影响

Fig.6 The effect of rumor conversion rate on the densities of I_1 and I_2 .

2.5 谣言逆转率和置换率综合影响

图 7a 及图 7b 显示出在单独将谣言置换率 α_2 从 0.01 增至 0.02 时, I_1 的密度下降了 3.6%, 而 I_2 的密度增加了 6.4%。同样地, 当谣言逆转率 σ_2 从 0.005 提升至 0.01 时, I_1 的密度下降了 4.2%, I_2 密度增加了 3.7%。当这两个参数同时增加一倍时, I_1 的密度下降更为显著, 达到了 7.2%, 而 I_2 的增幅也同样高达 8.8%。

实验结果指出, 谣言置换率和谣言逆转率的协同提升不仅能有效降低谣言传播者 I_1 的密度峰值, 还能显著增加辟谣信息传播者 I_2 的传播范围。这一现象表明同时提高这两个关键参数, 可以更加有效地扩大辟谣信息的传播范围, 同时在一定程度上降低谣言的传播范围, 并加速其衰退过程。

因此, 政府和相关机构应做好辟谣信息的引导, 提高信息的谣言逆转率和置换率, 扩大辟谣信息的传播规模, 鼓励用户要有质疑精神, 制定和执行针对谣言传播的政策和法规, 以建立健康的网络环境。

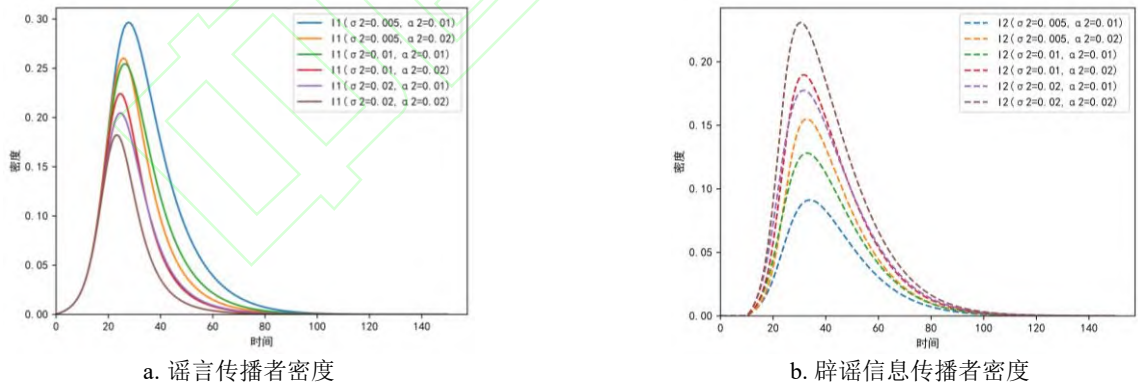


图 7 不同传播参数组合的 I_1 和 I_2 密度变化

Fig.7 Density changes of I_1 and I_2 with different combinations of propagation parameters.

2.6 网络连接度和辟谣时间对信息传播的影响

在初始参数设定下, 将网络平均度(\bar{k})设置为 10、15 和 20, 并将辟谣信息的启动时间设定为 5、15 和 20 个时间单位。根据图 8 显示, 当辟谣信息分别延迟 5、15 个时间单位启动时, 随着 \bar{k} 值增大, 无论是 I_1 还是 I_2 的密度均随网络平均度 \bar{k} 的提升而增加。然而当辟谣信息延迟至 20 个时间单位启动时, 随着 \bar{k} 的增大, I_1 密度仍然上升, 但 I_2 密度却随之减少。这可能是因为谣言已在网络中广泛传播较长时间, 而高连接度的网络在此阶段加速了谣言的传播, 使得辟谣信息难以扩散。

实验结果表明, 网络平均度越高, 不同介入时间对谣言扩散造成的差距就越大。对于低连通度网络, 辟谣介入时间窗口相对宽松, 介入的时效性对信息扩散的影响则相对较小。因此在高连接度的信息时代,

及时进行辟谣对于遏制谣言传播更为重要。对于社交媒体平台管理者而言，应在谣言传播初期迅速介入辟谣，从而遏制谣言的扩散。

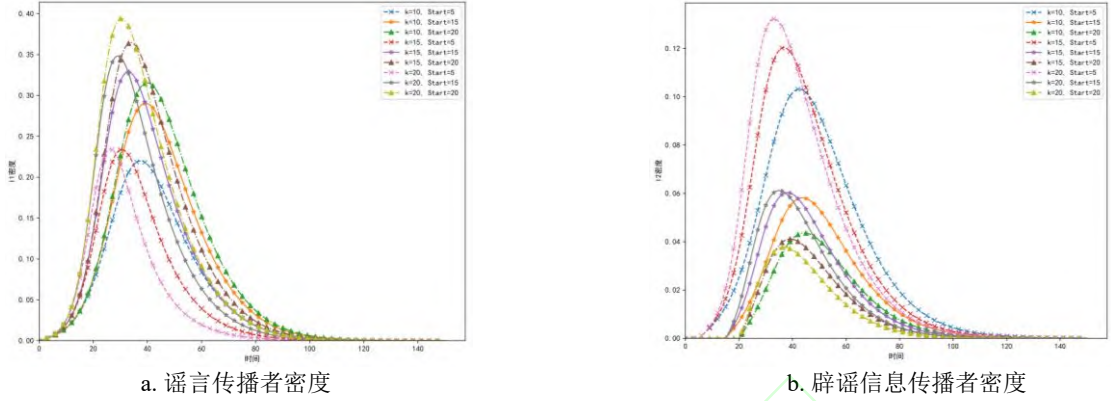


图 8 不同网络平均度和辟谣时间下的密度变化

Fig.8 Variation of rumor spreading density at different network average degrees and rumor-refutation timing

2.7 信息核实率对谣言传播影响的分析

不失一般性，本文选取了 WS 小世界网络和 BA 无标度网络进行模拟。该网络规模为 $N=10^5$ ，平均度 $\bar{k}=10$ ，初始条件网络中 $S(0)=\frac{10^5-10}{10^5}$ 、 $I_1(0)=\frac{10}{10^5}$ ，其他状态的初始密度均设为 0。图 9 给出了当固定参数取值 $\beta_1=0.06$ 、 $\beta_2=0.04$ 、 $\sigma_1=0.08$ 、 $\sigma_2=0.005$ 、 $\sigma_3=0.06$ 、 $\gamma_1=\gamma_2=0.02$ 、 $\delta_1=\delta_2=\xi_1=\xi_2=\lambda=0.001$ 、 $\alpha_1=0.02$ 、 $\alpha_2=\rho=0.01$ 时，不同信息核实率（ σ_2 和 σ_3 ）条件下谣言传播者 I_1 密度的峰值。其中，较深的紫色代表谣言传播者 I_1 的密度峰值较低；红色越深代表谣言传播者 I_1 的密度峰值越大。本实验构建了一个包含 10 万节点的 WS 网络及 BA 网络，每个节点平均连接 10 个邻居，重连概率设置为 0.5，专注于在 CASEIR 传播模型中探讨 E_1 到 I_2 的转变率（ σ_2 ）和 E_2 到 I_2 的转变率（ σ_3 ）对谣言传播者 I_1 密度峰值的影响。

随着 σ_2 和 σ_3 的减少，两种网络中的 I_1 密度均呈现不同程度的上升，其中 BA 网络中的信息传播受少数高度连接的枢纽节点显著影响，使得参数变化导致的 I_1 密度变化较为剧烈。WS 网络则由于其较均匀的连接和小世界特性，信息传播较为平均，使得同样的参数变化在 WS 网络中 I_1 密度变化较为温和且规则。实验结果表明提高信息核实率可以有效地减少谣言的传播并增强网络的整体抗谣言能力。当信息核实率（ σ_2 和 σ_3 ）提高时，谣言的传播受到了有效的控制。 I_1 密度峰值对于 σ_3 的变化表现出更强的敏感性。特别是，当 σ_3 增加时， I_1 的峰值密度有所降低，这表明较高的信息确认率（从 E_2 到 I_2 的转变）有助于控制谣言的传播。而 σ_2 的变化对 I_1 的峰值密度影响相对较小，这可能是由于该类节点在网络中的占比较低。该实验结果强调了提高信息核实率对控制谣言的重要性，政府可以通过公共教育提升公众鉴别谣言的能力，社交平台可以开发 AI 工具以标记虚假信息、设立快速举报与奖励机制以此来提高信息核实率。

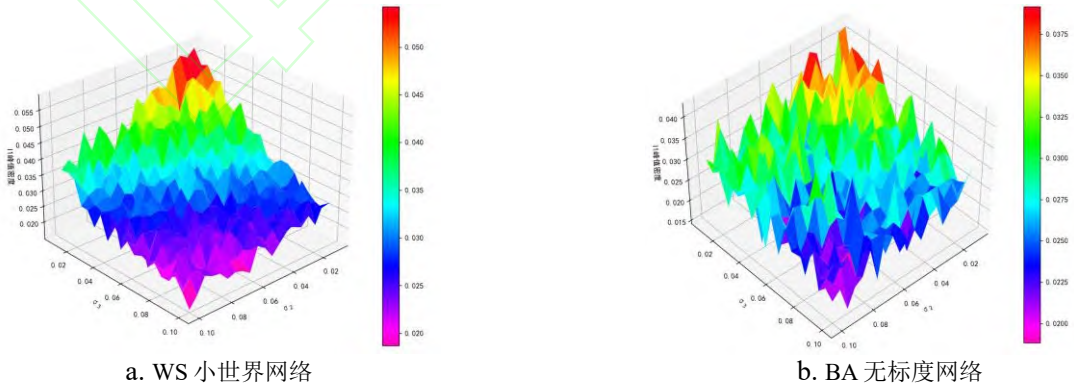


图 9 CASEIR 模型中不同 σ_2 和 σ_3 下 I_1 密度峰值

Fig.9 The peak values I_1 of the infective density under different σ_2 and σ_3 in the CASEIR model.

3 结论

本文通过在传统模型中引入谣言和辟谣信息的对立竞争传播，考虑了传播疲劳机制并添加谣言接触者可能核实信息并反向辟谣的新状态转换，提出了 CASEIR 二元对立信息传播模型，丰富了传统信息传播

模型的理论框架。在深入研究该模型在不同网络结构上的传播特性的基础上,通过数值模拟实验,探究了不同传播参数和网络拓扑结构对信息传播过程的影响。研究结果表明由于社交网络结构的复杂性,需要针对不同的社交网络建立相应的辟谣机制。同时揭示了及时辟谣在控制谣言传播中的关键作用。此外,通过调整谣言逆转率、信息核实率等,可以显著影响谣言的传播峰值,为制定有效的谣言控制策略提供依据。未来将进一步考虑模型的多层次网络扩展,分析不同类型网络层之间的信息传播互动。未来工作中将计划与新闻传播学课题组合作,构建基于实际调查结果的数据集,以验证和细化模型的预测能力。

参考文献:

- [1] ZUBIAGA A, AKER A, BONTICHEVA K, et al. Detection and Resolution of Rumours in Social Media: A Survey[J]. *ACM Computing Surveys*, 2019, 51(2): 1-36.
- [2] TIAN Y, FAN R, DING X, et al. Predicting Rumor Retweeting Behavior of Social Media Users in Public Emergencies[J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 87121-87132.
- [3] XING Q B, ZHANG Y B, LIANG Z N, et al. Dynamics of organizational rumor communication on connecting multi-small-world networks[J]. *Chinese Physics B*, 2011, 20(12): 120204.
- [4] LU Y L, JIANG G P, SONG Y R. Epidemic spreading on a scale-free network with awareness[J]. *Chinese Physics B*, 2012, 21(10): 100207.
- [5] 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): 544-550.
- [6] GU Y, XIA L. The propagation and inhibition of rumors in online social network.[J] *Acta Physica Sinica*, 2012, 61(23): 544-550.
- [7] 王超, 刘骋远, 胡元萍, 等. 社交网络中信息传播的稳定性研究[J]. *物理学报*, 2014, 63(18): 87-93.
- [8] WANG C, LIU C, HU Y, et al. Study on the stability of information dissemination in social networks. *Acta Physica Sinica*, 2014, 63(18): 87-93.
- [9] ZAN Y, WU J, LI P, 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.
- [10] WANG J, ZHAO L, HUANG R. SIRaRu rumor spreading model in complex networks[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2014, 398: 43-55.
- [11] 万贻平, 张东戈, 任清辉. 考虑谣言清除过程的网络谣言传播与抑制[J]. *物理学报*, 2015, 64(24): 73-83.
- [12] WANG Y, ZHANG D, REN Q. Propagation and inhibition of online rumor with considering rumor elimination process. *Acta Physica Sinica*, 2015, 64(24).
- [13] CHENG Y, HUO L, ZHAO L. Dynamical behaviors and control measures of rumor-spreading model in consideration of the infected media and time delay[J]. *Information Sciences*, 2021, 564: 237-253.
- [14] QIU X, ZHAO L, WANG J, et al. Effects of time-dependent diffusion behaviors on the rumor spreading in social networks[J]. *Physics Letters A*, 2016, 380(24): 2054-2063.
- [15] ZAN Y. DSIR double-rumors spreading model in complex networks[J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2018, 110: 191-202.
- [16] LIU Y, DIAO S M, ZHU Y X, et al. SHIR competitive information diffusion model for online social media[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2016, 461: 543-553.
- [17] ZHU H, WU H, CAO J, et al. Information dissemination model for social media with constant updates[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2018, 502: 469-482.
- [18] HUO L, WANG L, SONG N, et al. Rumor spreading model considering the activity of spreaders in the homogeneous network[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2017, 468: 855-865.
- [19] ZHANG Y, ZHU J. Stability analysis of I 2 S 2 R rumor spreading model in complex networks[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2018, 503: 862-881.
- [20] WANG Z, LIANG J, NIE H, et al. A 3SI3R model for the propagation of two rumors with mutual promotion[J]. *Advances in Difference Equations*, 2020, 2020(1): 109.
- [21] FENG L, HU Y, LI B, et al. Competing for Attention in Social Media under Information Overload Conditions[J]. *PLOS ONE*, 2015, 10(7): e0126090.
- [22] ALLPORT G W, POSTMAN L J. SECTION OF PSYCHOLOGY: The Basic Psychology of Rumor[J]. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, 1945, 8(2 Series II): 61-81.
- [23] VOSOUGH S, ROY D, ARAL S. The spread of true and false news online[J]. *Science*, 2018, 359(6380): 1146-1151.