

# 恐慌情绪与虚假信息双传播网络建模与仿真\*

于凯<sup>1,2</sup>, 宿天睿<sup>1</sup>

(1. 新疆财经大学 信息管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830012; 2. 新疆财经大学 公共管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830012)

**摘要:** 考虑个体犹豫机制、自净率以及停止率等因素对传播的影响, 同时引入个体情绪, 构建一种个体情绪与虚假信息的SEIR (Susceptible(易感者)-Exposed(潜伏者)-Infected(感染者)-Removed(康复者)) 双层传播模型. 利用数学分析给出平均场方程, 在此基础上推导出虚假信息与恐慌情绪的传播阈值, 继而通过仿真模拟和实证分析进行验证. 实验结果表明: 虚假信息的传播较易引发恐慌情绪, 恐慌情绪的出现增加了虚假信息影响的深度和广度; 仅通过控制虚假信息的传播来抑制恐慌可能会适得其反. 传播阈值是抑制虚假信息和恐慌情绪传播的关键, 且阈值变化在很小范围内即可有效控制传播.

**关键词:** 虚假信息; 恐慌情绪; 双传播网络; 建模与仿真

**DOI:** 10.13568/j.cnki.651094.651316.2022.03.23.0003

**中图分类号:** TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7675(2023)01-0079-08

**引文格式:** 于凯, 宿天睿. 恐慌情绪与虚假信息双传播网络建模与仿真[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2023, 40(1): 79-86.

**英文引文格式:** YU Kai, SU Tianrui. Modeling and simulation of dual propagation network combining panic and false information[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and English), 2023, 40(1): 79-86.

## Modeling and Simulation of Dual Propagation Network Combining Panic and False Information

YU Kai<sup>1,2</sup>, SU Tianrui<sup>1</sup>

(1. School of Information Management, Xinjiang University of Finance and Economics, Urumqi Xinjiang 830012, China;

2. School of Public Administration, Xinjiang University of Finance and Economics, Urumqi Xinjiang 830012, China)

**Abstract:** Studying the interaction and evolution of false information and panic in the process of information dissemination is of great value for public opinion governance. This paper considers the influence of individual hesitation mechanism, self purification rate and stop rate on communication, and introduces individual emotion to construct an SEIR double-layer communication model of individual emotion and false information. The mean field equation is given by mathematical analysis. On this basis, the propagation threshold of false information and panic is derived, and then verified by simulation and empirical analysis. The results show that the spread of false information is more likely to cause panic, and the emergence of panic increases the depth and breadth of the impact of false information; It may be counterproductive to suppress panic by controlling the spread of false information only. The propagation threshold is the key to suppress the spread of false information and panic, and the value change can be effectively controlled within a small range.

**Key words:** false information; panic; dual propagation network; modeling and simulation

## 0 引言

随着web 3.0时代的到来, 以微博、微信、Facebook等为代表的社交媒体凭借其信息的即时性、交互性、高传播速度和广度, 引发了一场媒体革命, 但同时虚假信息也开始在诸多社交网络中大量滋生, 容易引发恐慌情绪. 虚假信息是故意传播以误导或欺骗为目的的虚假或不准确的信息<sup>[1]</sup>, 在线社交网络中的虚假信息可以分为基于观点和基于事实两类<sup>[2]</sup>. 基于观点的虚假信息是通过个人观点的表达影响他人的意见和行为, 基于事实的虚假信息以虚假新闻和谣言为代表, 一般为故意捏造或拼凑的信息. 互联网信息来源的复杂性、用户的匿名性

\* 收稿日期: 2022-03-23

**基金项目:** 新疆维吾尔自治区社会科学基金“智能时代新疆重大舆情和突发事件舆论治理与引导机制研究”(21BTQ162); 新疆维吾尔自治区自然科学基金“基于多层网络模型的信息传播源头定位研究治理”(2019D01A22); 新疆财经大学研究生科研创新项目“虚假信息与恐慌情绪双传播网络建模与仿真研究”(XJUFE2022K43).

**作者简介:** 于凯 (1974-), 男, 博士, 教授, 主要从事舆情传播与治理、数据挖掘的研究, E-mail: 270157412@qq.com.

以及监管法律不完善等诸多因素使得多数情况下散播虚假和负面信息的成本低,且容易获得较高的流量,其在网络上的广泛传播会带来巨大的负面影响<sup>[3]</sup>. 情绪传播(又称情绪传染、情绪感染)是一种个体情绪或相关行为直接诱发他人产生相似情绪或行为的现象<sup>[4]</sup>. 由于社交网络的转发功能能够在传递过程中保持信息的完整性,而评论功能又可以传播个体的情绪和观点. 因此,虚假信息,尤其是涉及在线交易(如股票、基金等)、电商产品、线上协作等方面的虚假信息,常以两种类型组合形式存在,一旦出现在社交网络,极易产生广泛传播继而引发群体事件<sup>[5]</sup>. 如“双黄连和藿香正气水能治愈新冠”“西安草莓致‘出血热’”等,这些事件中的虚假信息都经过互联网迅速传播发酵,进而引发恐慌情绪的传播,造成了极坏的社会影响. 故研究虚假信息与恐慌情绪在信息传播过程中的相互作用及演化规律,有助于控制虚假信息的传播并抑制恐慌情绪,营造良好的网络环境.

近年来,针对虚假信息的研究成为了国内外学者关注的一个热点问题. 在线社交网络中信息的传播类似于传染病的传播,所以在初期诸多学者针对信息传播研究的模型都是借鉴了传染病传播机制<sup>[6-7]</sup>,并基于流行病学理论提出了信息传播的传染病模型,如SIR模型<sup>[8]</sup>、SEIR模型<sup>[9]</sup>、SIS模型<sup>[10]</sup>等. 部分学者倾向于探究网络结构对于信息传播的影响. 刘常昱等基于小世界网络提出了利用计算机仿真建立舆情传播模型的基本思路来量化舆论传播,并初步实现了对某特定地区舆论传播的仿真<sup>[11]</sup>. 曾璠基于小世界网络,对危机信息的传播规律进行了研究,验证了网络虚假信息传播的阶段性特点<sup>[12]</sup>. Zhao等详细地描述了考虑遗忘机制的信息传播过程,并进行仿真实验,分析了网络平均度、遗忘率和遏制率对传播的影响<sup>[13]</sup>. 孙雷霆等基于Multi-Agent建模技术,在Anylogic仿真平台建立了虚假舆情传播的巴斯扩散仿真模型<sup>[14]</sup>. 此外,部分学者结合心理学等学科,在信息传播过程中引入个体情绪. Hill等将复杂网络理论中的传染病SISa模型引入到情绪感染研究中<sup>[15]</sup>. 张晓霞等将挖掘信息传播的关键节点与情感分析技术相结合,对有重要舆论导向作用的负面情绪节点进行了标识<sup>[16]</sup>. 张亚明等基于情绪感染理论和经典传染病动力学模型构建IESR模型,引入负面情绪累积效应,证明了群体情绪强度和情绪传播行为呈现正相关<sup>[17]</sup>. 翟羽佳等将情感加入虚假信息的传播中,研究了突发公共卫生事件中虚假信息的时滞性扩散与情感关联的问题,发现引导公众产生负向情感的虚假信息在一定程度上会引发公众的大规模讨论<sup>[18]</sup>. 赵卫东等以信息传播引发群体情绪传播及群体行为作为出发点,构建了突发事件中网民群体间的情绪传播模型并进行了实证<sup>[19]</sup>.

综上所述,已有研究多基于传统传染病模型来探究虚假信息的影响和扩散机制,而针对虚假信息与公众情感间相互作用的研究成果比较有限. 基于此,本文在虚假信息传播的过程中考虑个体恐慌情绪的传播,构建虚假信息与恐慌情绪交互影响的双层传播模型. 在此基础上,采用仿真模拟与实证研究相结合的方式揭示二者的演化规律和传播阈值,以期相关部门治理虚假信息提供参考.

## 1 双传播模型构建

### 1.1 模型假设

在线社交网络平台中信息和情绪的传播是复杂多变的,同时,在线社交平台也在不断变化,如用户的加入与离开、好友关系的变化等. 因此,本文为建立双传播模型作出如下假设:

H1: 假设传播过程中所有在线用户都保持理性,不存在恶意用户和社交机器人.

H2: 已有研究表明,在线社交平台中虚假信息与情绪传播的时间较短,在仿真时可以不考虑网络的动态变化,即认为传播过程网络结构保持不变、用户总人数也不变<sup>[17,20]</sup>. 本文假设传播过程在封闭网络中进行,网络结构保持不变,无用户进出.

H3: 信息和情绪的传播是一个连续过程,本文假设虚假信息和恐慌情绪的传播过程可以划分为多个时间段并在每个时间段末统计网络中各类节点的数量,即排除其它因素的影响,只考虑当前时间段节点的状态对下一步传播过程的影响.

### 1.2 双传播模型

基于假设,传播过程中所有个体均处于封闭网络中,根据节点的状态可以将个体分为八类,其中不同类型的个体之间没有交集,所有类别的集合可以覆盖全部个体. 定义这八类个体为:无恐慌无知者(记作 $S_-$ ),无恐慌潜伏者(记作 $E_-$ ),无恐慌传播者(记作 $I_-$ ),无恐慌免疫者(记作 $R_-$ );恐慌无知者(记作 $S_+$ ),恐慌潜伏者(记作 $E_+$ ),恐慌传播者(记作 $I_+$ ),恐慌免疫者(记作 $R_+$ ). 各类个体之间的状态转移过程如图1所示,图中虚线表

示个体自发以一定概率发生状态转移,实线表示通过接触其它状态的个体后以一定概率发生状态转移.图1中各参数的名称及意义如表1所示.

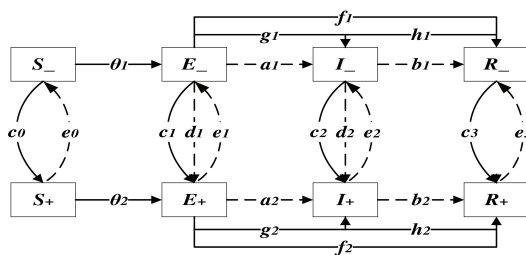


图 1 双传播模型各类个体状态转移图

表 1 参数意义

参数	参数名称	参数意义
$\theta_1$	无恐慌潜伏率	无恐慌无知者转化为无恐慌潜伏者的概率
$\theta_2$	恐慌潜伏率	恐慌无知者转化为恐慌潜伏者的概率
$a_1$	无恐慌传播率	无恐慌潜伏者自发转化为无恐慌传播者的概率
$a_2$	恐慌传播率	恐慌潜伏者自发转化为恐慌传播者的概率
$b_1$	无恐慌停止率	无恐慌传播者自发转化为无恐慌免疫者的概率
$b_2$	恐慌停止率	恐慌传播者自发转化为恐慌免疫者的概率
$c_0$	无知者接触恐慌率	无恐慌无知者转化为恐慌无知者的概率
$c_1$	潜伏者接触恐慌率	无恐慌潜伏者转化为恐慌潜伏者的概率
$c_2$	传播者接触恐慌率	无恐慌传播者转化为恐慌传播者的概率
$c_3$	免疫者接触恐慌率	无恐慌免疫者转化为恐慌免疫者的概率
$d_1$	潜伏者无接触恐慌率	无恐慌潜伏者自发转化为恐慌潜伏者的概率
$d_2$	传播者无接触恐慌率	无恐慌传播者自发转化为恐慌传播者的概率
$e_0$	无知者无接触恢复率	恐慌无知者自发转化为无恐慌无知者的概率
$e_1$	潜伏者无接触恢复率	恐慌潜伏者自发转化为无恐慌潜伏者的概率
$e_2$	传播者无接触恢复率	恐慌传播者自发转化为无恐慌传播者的概率
$e_3$	免疫者无接触恢复率	恐慌免疫者自发转化为无恐慌免疫者的概率
$f_1$	无恐慌抑制率	无恐慌潜伏者转化为无恐慌免疫者的概率
$f_2$	恐慌抑制率	恐慌潜伏者转化为恐慌免疫者的概率
$g_1$	无恐慌接触传播率	无恐慌潜伏者转化为无恐慌传播者的概率
$g_2$	恐慌接触传播率	恐慌潜伏者转化为恐慌传播者的概率
$h_1$	无恐慌接触抑制率	无恐慌传播者转化为无恐慌免疫者的概率
$h_2$	恐慌接触抑制率	恐慌传播者转化为恐慌免疫者的概率

### 1.3 双传播模型演化规律

结合图1和表1可知,虚假信息与恐慌情绪双传播模型的演化规律如下:

1) 潜伏态的个体用于量化虚假信息传播过程的潜在威胁,模型不考虑潜伏者的遗忘机制,目的在于确定虚假信息及公众恐慌情绪的最大威胁.

2) 虚假信息的传播过程借鉴传染病的传播机制,无知者接触传播者转化为潜伏态,潜伏态的个体(恐慌或无恐慌传播者)可能再次接触传播者(无恐慌和恐慌)变为传播者(恐慌或无恐慌)或是自发转化为传播者(恐慌或无恐慌),也有可能是在虚假信息的二次刺激下转化为免疫者(无恐慌或恐慌).处于传播状态的个体(恐慌或无恐慌)可能会自发转化为免疫者(恐慌或无恐慌),也可能是在接触免疫者(无恐慌和恐慌)后受抑制转化为免疫者(无恐慌或恐慌).

3) 在模型中,箭头的指向即为节点状态的转移方向.虚假信息的传播引发恐慌情绪,无恐慌情绪的个体(无知者或潜伏者或传播者或免疫者)接触恐慌者会有一定概率转化为恐慌情绪个体,已知晓虚假信息的无恐慌个体也会以一定概率转化为恐慌个体.

4) 引入平均场理论, 对整个传播系统中不同状态节点的数量进行统计. 在实际传播过程中, 会出现两种状态同时转移的情况, 如无恐慌无知者 ( $S_-$ ) 接触恐慌传播者 ( $I_+$ ) 可能会转化为恐慌潜伏者 ( $E_+$ ). 根据平均场理论, 在同一时刻, 由恐慌无知者 ( $S_+$ ) 和无恐慌潜伏者 ( $E_-$ ) 接触恐慌传播者 ( $I_+$ ) 转化为恐慌潜伏者 ( $E_+$ ) 的数量与无恐慌无知者 ( $S_-$ ) 接触恐慌传播者 ( $I_+$ ) 转化为恐慌潜伏者 ( $E_+$ ) 的数量是相同的, 故不需要重复考虑由无恐慌无知者 ( $S_-$ ) 直接转化为恐慌潜伏者 ( $E_+$ ) 的情况, 类似情况同理.

#### 1.4 双传播模型平均场方程

引入平均场理论, 假设传播过程在均匀网络中展开, 则推导过程需要引入网络平均度  $\bar{k}$  这一概念, 双传播模型的平均场方程如公式 (1~8) 所示. 其中  $S_-(t)$ 、 $S_+(t)$ 、 $E_-(t)$ 、 $E_+(t)$ 、 $I_-(t)$ 、 $I_+(t)$ 、 $R_-(t)$ 、 $R_+(t)$  分别表示在  $t$  时刻网络中无恐慌无知者、恐慌无知者、无恐慌潜伏者、恐慌潜伏者、无恐慌传播者、恐慌传播者、无恐慌免疫者和恐慌免疫者的占比.

$$\frac{dS_-(t)}{dt} = -\theta_1 \bar{k} S_-(t) [I_+(t) + I_-(t)] - c_0 \bar{k} S_-(t) [S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)] + e_0 S_+(t) \quad (1)$$

$$\frac{dS_+(t)}{dt} = -\theta_2 \bar{k} S_+(t) [I_+(t) + I_-(t)] + c_0 \bar{k} S_-(t) [S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)] - e_0 S_+(t) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{dE_-(t)}{dt} &= \theta_1 \bar{k} S_-(t) [I_+(t) + I_-(t)] - c_1 \bar{k} E_-(t) [S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)] - d_1 E_-(t) \\ &\quad - a_1 E_-(t) + e_1 E_+(t) - g_1 \bar{k} E_-(t) [I_+(t) + I_-(t)] - f_1 \bar{k} E_-(t) [I_+(t) + I_-(t)] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{dE_+(t)}{dt} &= \theta_2 \bar{k} S_+(t) [I_+(t) + I_-(t)] + c_1 \bar{k} E_-(t) [S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)] + d_1 E_-(t) \\ &\quad - a_2 E_+(t) - e_1 E_+(t) - g_2 \bar{k} E_+(t) [I_+(t) + I_-(t)] - f_2 \bar{k} E_+(t) [I_+(t) + I_-(t)] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{dI_-(t)}{dt} &= a_1 E_-(t) - b_1 I_-(t) - c_2 \bar{k} I_-(t) [S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)] - d_2 I_-(t) + e_2 I_+(t) \\ &\quad + g_1 \bar{k} E_-(t) [I_+(t) + I_-(t)] - h_1 \bar{k} I_-(t) [R_+(t) + R_-(t)] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{dI_+(t)}{dt} &= a_2 E_+(t) - b_2 I_+(t) + c_2 \bar{k} I_-(t) [S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)] + d_2 I_-(t) - e_2 I_+(t) \\ &\quad + g_2 \bar{k} E_+(t) [I_+(t) + I_-(t)] - h_2 \bar{k} I_+(t) [R_+(t) + R_-(t)] \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{dR_-(t)}{dt} &= b_1 I_-(t) - c_3 \bar{k} R_-(t) [S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)] + e_3 R_+(t) + f_1 \bar{k} E_-(t) [I_+(t) \\ &\quad + I_-(t)] + h_1 \bar{k} I_-(t) [R_+(t) + R_-(t)] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{dR_+(t)}{dt} &= b_2 I_+(t) + c_3 \bar{k} R_-(t) [S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)] - e_3 R_+(t) + f_2 \bar{k} E_+(t) [I_+(t) \\ &\quad + I_-(t)] + h_2 \bar{k} I_+(t) [R_+(t) + R_-(t)] \end{aligned} \quad (8)$$

## 2 传播系统稳定性分析

### 2.1 虚假信息传播系统稳定性分析

根据公式 (1~8) 可知, 当双传播系统达到稳定状态时, 中间状态个体的数量为零, 仅存在无知态和免疫态个体. 只考虑虚假信息的传播时, 令  $b_1 = b_2$ 、 $f_1 = f_2$ 、 $h_1 = h_2$ 、 $\theta_1 = \theta_2$ , 虚假信息传播的平均场方程如下所示.

$$\begin{aligned} \frac{dR(t)}{dS(t)} &= \frac{R_-(t) + R_+(t)}{S_-(t) + S_+(t)}, \\ &= \frac{b[I_-(t) + I_+(t)] + \bar{k}[E_-(t) + E_+(t)][I_-(t) + I_+(t)] + h\bar{k}[I_-(t) + I_+(t)][R_-(t) + R_+(t)]}{-\theta \bar{k} S(t) [I_-(t) + I_+(t)]}, \\ &= \frac{b + \bar{k}[E_-(t) + E_+(t)] + h\bar{k}[R_-(t) + R_+(t)]}{-\theta \bar{k} S(t)}, \\ &= \frac{b + h\bar{k}[R_-(t) + R_+(t)]}{-\theta \bar{k} S(t)}, \\ &= \frac{b + h\bar{k}}{-\theta \bar{k} S(t)} + \frac{h}{\theta}. \end{aligned}$$

初始时刻,网络中只存在S态和I态的节点,达到稳定状态的网络中不存在中间状态的节点,即 $S(0) \approx 1, R(0) = 0, S(\infty) = 1 - R(\infty)$ . 对 $R(t)$ 和 $S(t)$ 分别从初始状态到结束状态进行积分,当满足 $[-(\theta+h)\bar{k}/(b+h\bar{k})]R = \ln[1-R]$ 条件时,系统达到稳定状态,针对上式令 $R(\infty) = R$ ,若存在非零解,则需要满足条件 $(\theta+h)\bar{k}/(b+h\bar{k}) > 1$ ,即 $\theta\bar{k}/b > 1$ ,此时虚假信息的传播系统是不稳定的,虚假信息传播开来.

### 2.2 恐慌情绪传播系统稳定性分析

针对恐慌情绪传播过程的研究,部分学者根据系统中无恐慌个体占比( $N_-(t)$ )和恐慌个体占比( $N_+(t)$ )来研究传播系统的稳定性<sup>[15,21]</sup>,其中 $N_-(t) = S_-(t) + E_-(t) + I_-(t) + R_-(t)$ 、 $N_+(t) = S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)$ 、 $N_+(t) + N_-(t) = 1$ ,此时可得恐慌情绪传播的平均场方程,如式(9~10)所示.

$$\frac{dN_-(t)}{dt} = -c\bar{k}N_-(t)N_+(t) - d[E_-(t) + I_-(t)] + eN_+(t) \tag{9}$$

$$\frac{dN_+(t)}{dt} = c\bar{k}N_-(t)N_+(t) + d[E_-(t) + I_-(t)] - eN_+(t) \tag{10}$$

由平均场理论可知,达到稳定状态时公式(10)等于零,可得两个平衡点 $N_+(t) = 0$ 及 $N_+(t) = 1 - e/c\bar{k}$ ,故当 $N_+(t) = 1 - e/c\bar{k}$ ,即 $c\bar{k}/e > 1$ 时,系统是不稳定的,恐慌情绪传播开来.

### 2.3 双传播系统稳定性分析

根据上述推导过程,基于虚假信息和恐慌情绪独立传播所建立的双传播模型的传播阈值如图2所示,按照推导结果可分为无传播域、虚假信息传播域、恐慌情绪传播域和双传播域.

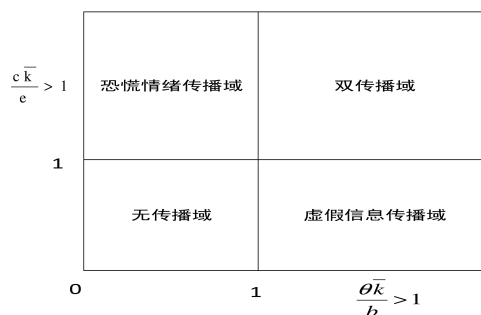


图 2 双传播阈值区域划分

## 3 仿真模拟与实证研究

### 3.1 实验设计

分别选取均匀网络和实证网络进行实验. 1) 均匀网络: 利用gephi软件生成节点数目为6 000的ER随机网络,获取5 995个节点的巨连通分支模拟双传播的过程,其节点的平均度为7.152,网络的度分布呈均匀分布. 2) 实证网络: 选用比特币场外交易信任网络<sup>[22-23]</sup>,在Bitcoin OTC平台,比特币用户是匿名的,用户之间相互连接形成在线社交网络. 利用gephi提取该网络的巨连通分支,得到5 875个节点,网络的度分布呈长尾分布,度分布不均匀,具有无标度属性,节点平均度为7.315,符合在线社交网络的基本特性.

使用python工具编写代码,分别在均匀网络和实证网络中进行实验,在实验过程中网络保持稳定,无节点进入或移出,节点之间的连边也保持稳定. 在传统的SEIR传染病模型中,对无知者(S态)节点数量比例的变化求得 $\theta$ 的取值. 为减少实验误差,所有的实验结果取50次模拟计算的平均值.

上述SEIR双传播模型阈值的计算建立在虚假信息和恐慌情绪独立传播的基础上,但是现实中二者的传播是相互影响的,具体表现在四个方面. 一是无恐慌者接触虚假信息会自发产生恐慌,模型中用参数 $d$ 表示;二是恐慌情绪的存在使得虚假信息的传播更加容易,停止更难,模型参数取值表现为: $a_1 < a_2, b_1 > b_2, g_1 < g_2, f_1 > f_2, h_1 > h_2$ ;三是虚假信息的存在更容易引发恐慌情绪,恢复更难,模型参数取值表现为: $c_2 > c_1 > c_0 = c_3, e_0 = e_3 > e_1 > e_2$ ;四是恐慌情绪存在于无知者个体中,增加了虚假信息影响的深度和广度.

### 3.2 实验结果

根据假设,将与阈值无关的参数取值为: $a_1=0.1, a_2=0.2, d_1=0.1, d_2=0.1, f_1=0.2, f_2=0.1, g_1=0.2, g_2=0.4, h_1=0.2, h_2=0.1$ . 采用传统的SEIR传播模型进行50次模拟实验,来确定与虚假信息传播阈值有关的参数 $\theta$ ,根据无知者(S态)节点数量的变化求得 $\theta$ 均值为0.083 27. 根据传播阈值确定与虚假信息传播相关的参数:当 $b_1=0.5, b_2=0.4$ 时,阈值大于1;当 $b_1=0.7, b_2=0.65$ 时,阈值小于1;根据传播阈值确定与恐慌情绪传播相关的参数:当 $c_0 = c_3=0.08, c_1=0.09, c_2=0.1, e_0 = e_3=0.5, e_1=0.45, e_2=0.4$ 时,阈值大于1;当 $c_0 = c_3=0.045, c_1=0.05, c_2=0.055, e_0 = e_3=0.55, e_1=0.5, e_2=0.45$ 时,阈值小于1.

实验结果表明,在均匀网络和实证网络中,无知者所占比例均会随着时间推移递减,且递减速度由快而慢;而恐慌情绪个体和虚假信息传播个体所占比例则随时间推移先增至峰值后递减.出现上述变化的原因是当网络中出现一个虚假信息的传播者后,虚假信息便会在网络中迅速散播,继而引发恐慌情绪,从而导致恐慌情绪个体迅速增加.一段时间后,由于虚假信息得到澄清或热度持续下降,潜伏态和传播态的个体便以一定的概率转为免疫状态.当双传播系统达到稳定状态时,中间状态节点( $E_-$ 、 $E_+$ 、 $I_-$ 、 $I_+$ )的比例在传播系统中为零.因此,在绘图过程中,考虑到节点数量比例和可视性,对结果图的坐标轴进行缩放.

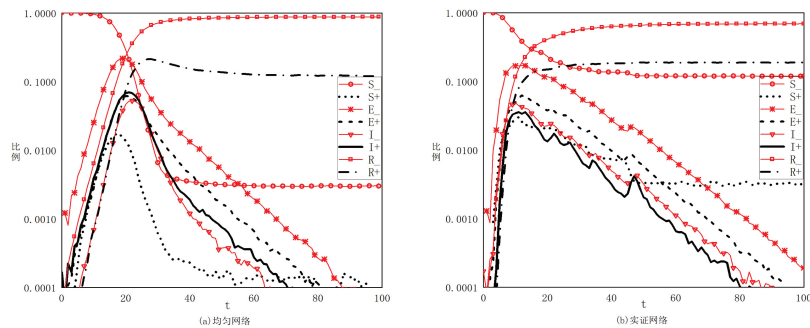


图 3 达到双传播阈值时各状态节点数量比例变化

如图3所示,当传播阈值大于1时,虚假信息和恐慌情绪都传播开来.在均匀网络和实证网络中,最终都会长期存在一定比例恐慌停止态的个体,原因在于个体失去信息传播兴趣并停止传播后会抑制邻居节点的传播,但网络中仍存在恐慌情绪个体之间的相互影响.均匀网络中多数状态的节点在更短的时间内达到稳定状态,中间状态个体增加快、减少也快;实证网络的传播过程耗时更长.

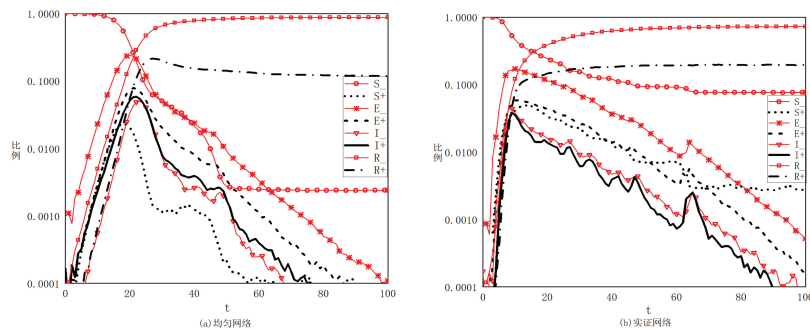


图 4 虚假信息未达到传播阈值时各状态节点数量比例变化

如图4、图5所示,未达到虚假信息的传播阈值时,均匀网络中传播态个体的峰值明显削减,而实证网络中削减并不明显;未达到恐慌情绪的传播阈值时,最终均匀网络中恐慌个体比例趋于0,而实证网络仍存在一定比例的恐慌个体.

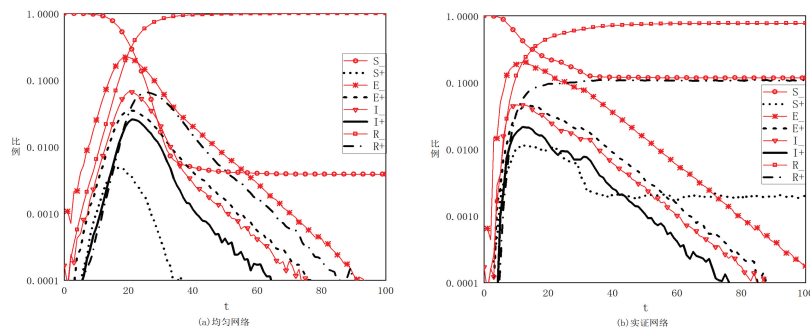


图 5 恐慌情绪未达到传播阈值时各状态节点数量比例变化

将图3~图6中的传播态个体( $I(t) = I_-(t) + I_+(t)$ )和恐慌态个体( $N_+(t) = S_+(t) + E_+(t) + I_+(t) + R_+(t)$ )放入图7进行对比分析.如图6、图7所示,在双传播过程中,传播态个体的比例相对较低.因此,根据传播阈值调

整参数对虚假信息和恐慌情绪的传播有一定的抑制作用. 此外, 如图7 (b) 所示, 相较虚假信息未达到传播阈值的网络, 在达到传播阈值的网络中, 恐慌态个体所占比例的峰值更高, 说明在虚假信息传播过程中出现恐慌情绪时, 仅通过控制虚假信息的传播来抑制恐慌的做法可能会适得其反.

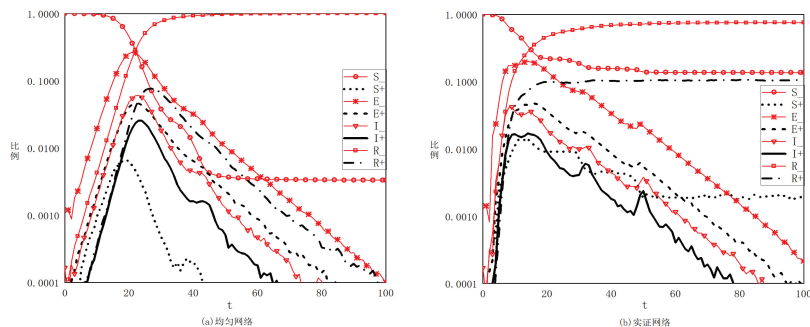


图 6 未达到双传播阈值时各状态节点数量比例变化

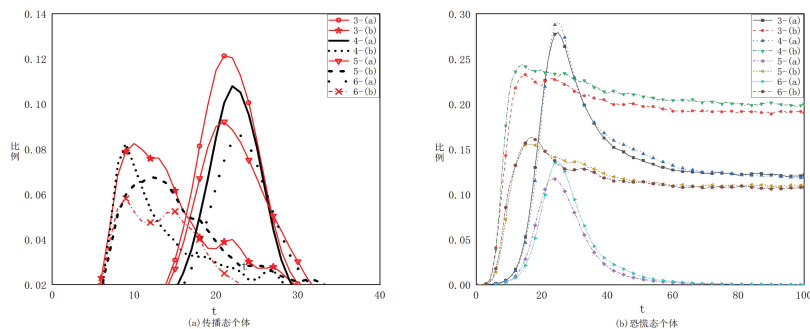


图 7 传播态个体和恐慌态个体数量比例变化

在均匀网络中, 可通过控制恐慌情绪传播阈值来抑制恐慌, 而实证网络中出现恐慌情绪后需要同时治理虚假信息和恐慌情绪. 综合虚假信息和恐慌情绪的传播过程来看, 相比均匀网络, 实证网络中传播态个体的比例更低, 传播系统达到稳定状态时“幸存者 ( $S_-$ )”比例更高. 实验结果与事实相符, 即在现实生活中一条信息通常不会被所有人知晓.

均匀网络和实证网络在双传播过程中出现不同结果的原因主要在于网络拓扑结构的差异, 均匀网络中节点的度集中分布在平均度左右, 而实证网络为长尾分布, 实证网络中的大度节点接收信息和情绪的传播信号后, 具有极强的影响力, 在失去传播兴趣后, 又会抑制邻居节点的传播. 在传播过程中, 潜伏态个体的存在延长了信息传播过程, 实证网络中大度节点的存在加之恐慌情绪的影响, 使得信息传播更容易, 停止更难, 表现为中间状态节点的比例在到达峰值过后趋于平缓, 这与文献[21]中SIR模型双传播的过程有较大区别.

## 4 结论

虚假信息的传播往往会引发公众的恐慌情绪, 从而造成不良后果. 为探究两者之间的相互影响和传播规律, 本文构建了虚假信息和恐慌情绪的双传播模型, 首先通过平均场理论计算出二者的传播阈值, 其次在均匀网络和实证网络 (非均匀网络) 中分别展开仿真模拟实验进行验证和对比分析. 实验结果表明: 虚假信息的传播较易引发恐慌情绪, 同时恐慌情绪的出现增加了虚假信息影响的深度和广度, 仅通过控制虚假信息的传播来抑制恐慌可能会适得其反. 此外, 传播阈值是抑制虚假信息和恐慌情绪传播的关键, 且阈值变化在很小范围内即可有效控制传播. 研究结果对虚假信息和恐慌情绪双传播的治理具有一定的参考价值. 不足之处在于模型中的相关参数的取值仅通过参考已有研究<sup>[18,21]</sup>和实验来确定, 主观性较强, 如何获取更多真实网络数据进行参数的设置和模型的验证有待研究.

### 参考文献:

[1] FALLIS D. What is disinformation?[J]. Library Trends, 2015, 63(3): 401-426.  
 [2] 王剑, 王玉翠, 黄梦杰. 社交网络中的虚假信息: 定义、检测及控制[J]. 计算机科学, 2021, 48(8): 263-277.

- [3] 张卫东, 李松涛, 梁恩平. 基于完全信息博弈模型的社交媒体用户跟随行为研究[J]. 情报科学, 2019, 37(8): 114-119.
- [4] 陈业华, 张晓倩. 网络突发群体事件网民群体情绪传播模型及仿真研究[J]. 情报科学, 2018, 36(3): 151-156.
- [5] 孙国强, 石文萍, 王莉. 国内在线社交网络群体行为研究现状与展望[J]. 现代情报, 2016, 36(2): 38-42.
- [6] HETHCOTE W. The mathematics of infectious diseases[J]. SIAM Review, 2000, 42(4): 599-653.
- [7] 马知恩, 周义仓, 王稳地, 等. 传染病动力学的数学建模与研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [8] DALEY D J, KENDALL D G. Epidemics and Rumours[J]. Nature, 1965, 204(4963): 1118.
- [9] TULJAPURKARS. The mathematics of infection[J]. Science, 1991, 254(5031): 591-592.
- [10] ROMUALDO P S, ALESSANDRO V. Epidemic dynamics and endemic states in complex networks[J]. Physical Review E, 2001, 63(6): 066117.
- [11] 刘常昱, 胡晓峰, 司光亚, 等. 基于小世界网络的舆论传播模型研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(12): 3608-3610.
- [12] 曾璠. 基于小世界网络的危机信息传播模型研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009.
- [13] ZHAO L J, WANG J J, CHEN Y H, et al. SIHR rumor spreading model in social networks[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2012, 391(7): 2444-2453.
- [14] 孙雷霆, 李春发, 陶建强. 基于Multi-Agent的虚假舆情传播仿真[J]. 情报杂志, 2017, 36(4): 162-169.
- [15] HILL A L, RAND D G, NOWAK M A, et al. Emotions as infectious diseases in a large social network: the SISa model[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2010, 277(1701): 3827-3835.
- [16] 张晓霞, 王名扬, 贺慧新, 等. 结合情感分析的突发事件舆情网络关键节点挖掘[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2015, 32(3): 336-341.
- [17] 张亚明, 何旭, 杜翠翠, 等. 负面情绪累积效应下网民群体情绪传播的IESR模型研究[J]. 情报科学, 2020, 38(10): 29-34.
- [18] 翟羽佳, 过南杉, 阎嘉琪. 突发公共卫生事件中虚假信息的时滞性扩散与情感关联分析[J]. 情报科学, 2021, 39(5): 62-69.
- [19] 赵卫东, 赵旭东, 戴伟辉, 等. 突发事件的网络情绪传播机制及仿真研究[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(10): 2573-2581.
- [20] 范纯龙, 宋会敏, 丁国辉. 一种改进的SEIR网络谣言传播模型研究[J]. 情报杂志, 2017, 36(3): 86-91.
- [21] 王佳佳, 邱小燕. 网络谣言与恐慌情绪并行传播相互影响研究[J]. 情报杂志, 2021, 40(4): 200-207.
- [22] SRIJAN K, FRANCESCA S, SUBRAHMANIANVS, et al. Edge weight prediction in weighted signed networks[C]//IEEE International Conference on Data. New Orleans: ICDM Press, 2017.
- [23] KUMAR S, HOOI B, MAKHIJA D, et al. REV2: fraudulent user prediction in rating platforms[C]//The Eleventh ACM International Conference. Como: ACM Press, 2018.

责任编辑: 张自强

(上接第78页)

- [25] SHI Y, YANG X Y, GUO Y H. Translation invariant directional framelet transform combined with Gabor filters for image denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014, 23(1): 45-55.
- [26] WANG Y, JODOIN P M, PORIKLI F, et al. CDnet 2014: an expanded change detection benchmark dataset[C]//2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. Columbus: IEEE, 2014.
- [27] MAZUMDER R, HASTIE T, TIBSHIRANI R. Spectral regularization algorithms for learning large incomplete matrices[J]. Journal of Machine Learning Research, 2010, 11(11): 2287-2322.
- [28] LI C L, WANG X, ZHANG L, et al. Weighted low-rank decomposition for robust grayscale-thermal foreground detection[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2017, 27(4): 725-738.
- [29] PANG Y W, YE L, LI X L, et al. Incremental learning with saliency map for moving object detection[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2018, 28(3): 640-651.
- [30] HUYNH-THU Q, GHANBARI M. Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment[J]. Electronics Letters, 2008, 44(13): 800-801.
- [31] WANG S Q, MA K D, YEGANEH H, et al. A patch-structure representation method for quality assessment of contrast changed images[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2015, 22(12): 2387-2390.
- [32] ZHANG L, ZHANG L, MOU X Q, et al. FSIM: a feature similarity index for image quality assessment[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(8): 2378-2386.

责任编辑: 张自强