

SIOCER 信息传播模型及其仿真研究

高婷¹ 卫遥²
GAO Ting WEI Yao

摘要

在线社交网络为公众了解和获取热点话题提供了便捷的途径,也使得大量虚假信息在社交网络中迅速传播,这给相关部门带来了巨大的挑战,考验其社会治理能力和危机应对措施。因此,有必要建立合适的信息传播模型,并对信息传播的本质进行深入分析。为了研究突发事件中信息传播与交互的动态,结合管控措施以及媒体公信力对虚假信息传播的影响,建立 SIOCER 信息传播模型。此外,对模型进行理论分析,并采用下一代矩阵法计算出信息的传播阈值。随后,通过数值模拟探讨影响信息传播的因素。结果表明,加大对虚假信息的管控力度和提升主流媒体公信力是控制虚假信息传播的两个重要因素,并且会缩短信息传播的持续时间。此外,对于虚假信息的管控力度要适度,较大的管控力度对于虚假信息的抑制起到的作用较小,可能会浪费较多的人力、物力。

关键词

管控措施;媒体公信力;信息传播模型;微分方程

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.11.002

0 引言

随着移动互联网的快速发展,突发新闻或网络谣言可以通过社交网络广泛而快速地传播^[1]。包含负面、攻击性事件,引发不安全感或对不确定性的恐惧等虚假信息传播速度更快^[2]。有时虚假信息会左右社会舆论^[3],引发恐慌^[4],影响社会秩序。因此,对虚假信息的传播过程进行建模和分析是至关重要的,可以采取可行的措施来减少虚假信息的传播和影响。

与传染病的传播一样,谣言的产生和传播已经成为社交网络用户之间的社会传染过程。谣言传播的研究开始于1964年,Daley和Kendall^[5]首次提出了谣言传播模型,考虑到谣言传播与病毒传播的不相似性。在DK模型中,将用户分为三类:无知者、传播者和恢复者。Thomson和Maki^[6]通过引入无知者和传播者之间更复杂的相互作用,建立了MT模型。

随后,谣言传播模型与传染病模型的整合已被广泛采用,现有研究大多使用SI、SIS、SIR、SIRS和SEIR模型,并且引入新的机制来全面阐释谣言传播动力学,包括遗忘机制、记忆机制、犹豫机制、信任机制、反驳机制、揭穿机制等,这些机制都是关于个人相关因素对信息传播的影响。其中,Zhao等人^[7]考虑到遗忘和记忆机制的相互作用,建立了一种

新的谣言传播模型——易感-感染-休眠-清除(SIHR)模型。Xia等人^[8]考虑谣言内容的吸引力和模糊性,提出了一种带有犹豫机制的改进的易感-暴露-感染-去除(SEIR)模型。Wang等人^[9]引入信任机制,推导了平均场方程来描述SIR模型在齐次网络和非齐次网络上的动力学,结果表明信任机制不仅大大降低了谣言的影响,而且推迟了谣言的终结时间。Guo等人^[10]考虑到对媒体报道的外部驳斥和对反媒体个体的内部驳斥的综合作用,提出了一种具有双重反驳机制的谣言传播模型。Tian等人^[11]研究了揭穿行为和不同的总人口数对谣言动态的影响,并讨论了在突发事件下抑制谣言传播的相应管理策略。

此外,还有一些外部因素会对信息传播造成影响。杨仁彪等人^[12]指出社交平台的谣言管控策略对网络谣言能够起到较好的抑制效果。Zhang等人^[13]表明政府公信力和官方辟谣信息的发布时间对谣言的控制起到关键作用。Ran等人^[14]引入信息干扰函数来描述外部信息的影响,将复杂网络理论与传播动力学理论相结合,建立了信息传播的动态方程,表明外部信息的干扰会极大地促进原始信息的传播。

基于此,本文提出了一种新的信息传播模型,该模型考虑了对虚假信息传播者的控制以及虚假信息的逃逸和媒体公信力在虚假信息传播过程中的影响。同时,基于所提出的模型,本文研究了抑制措施的效果,如适当加强对虚假信息的管控,尽可能地提高媒体公信力,有效地解决虚假信息传播问题,从而在一定时间内将信息传播最终规模降到最低。

1. 山西电子科技学院信创产业学院 山西临汾 041000

2. 山西电子科技学院微电子学院 山西临汾 041000

[基金项目] 山西省高等学校科技创新项目 (No.2022L640)

本文的其余部分组织如下。在第1节中,提出了信息传播模型。在第2节中对模型进行了理论分析,求出了模型的均衡点,证明了无信息平衡点的稳定性,然后采用下一代矩阵方法从理论上讨论了信息的传播阈值。第3节通过数值模拟研究了关键参数对信息传播的影响。最后,对本文的研究结果、局限性和未来研究的潜在方向进行了讨论。

1 模型

本文将人群分为7类,分别为未知者(S),真实信息传播者(I),传播虚假信息的人包括普通传播者(O)、受控者(C)、逃逸者(E)、恢复者1(R_1)、恢复者2(R_2)。

未知者指的是不知道信息的人;真实信息传播者指的是传播真实信息的人,主要指主流媒体,传播官方信息的人;普通传播者指的是既没有受控也没有逃逸的虚假信息的传播者;受控者指的是因传播虚假信息受到管控(例如封号、禁言、限流等)的人;逃逸者指的是传播虚假信息但逃脱平台管控的人;恢复者1指的是知道真实消息但不再传播真实消息的人;恢复者2指的是知道虚假消息但不再传播虚假信息的人。各类人群的具体传播过程如图1所示。同时,做出以下假设。

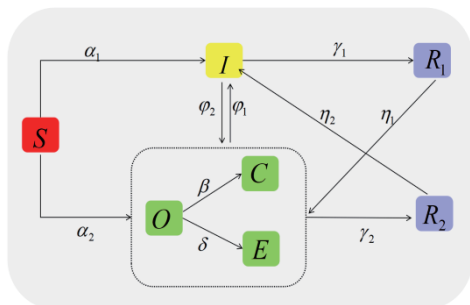


图1 各类人群的转化关系

(1) 未知者与真实信息传播者接触,会以 α_1 的概率变为真实信息传播者。

(2) 虚假信息传播者散播虚假信息以后,可能会受到管控,从而以 β 的概率转变为受控者。由于社交平台管控程度的差异,部分用户仅受到警告、提醒、限期改正等轻度管控,其仍然可以传播虚假信息,但是传播能力将受到一定限制,比如发布内容可信度下降、发布信息仅部分可见或延时可见等。

(3) 社交平台谣言管控过程中部分传播者通过一定的技术手段逃脱平台的管控措施,进而以 δ 的概率成为逃逸者,并继续在系统内散播虚假信息。未知者被受控者以及逃逸者“感染”后并不直接转化为受控者或者逃逸者,而是成为普通传播者。因此,未知者与虚假信息传播者(普通传播者、受控者以及逃逸者)接触,会以 α_2 的概率变为普通传播者。

一般情况下,虚假信息的传播范围明显比真实信息更广,且虚假信息被转发的次数都比真实信息多^[15]。因此,在这里,取 $\alpha_2 > \alpha_1$ 。

(4) 虚假信息传播者(真实信息传播者)与真实信息传播者(虚假信息传播者)接触会以概率 $\varphi_1(\varphi_2)$ 转变为真实信息传播者(虚假信息传播者)。

(5) 真实信息传播者会以 γ_1 的概率对真实信息不感兴趣,不再传播真实信息,转变为恢复者1,而恢复者1如果与虚假信息传播者接触,则会以 η_1 的概率转变为普通传播者;同样,虚假信息传播者会以 γ_2 的概率不再传播虚假信息,转变为恢复者2,而恢复者2如果与真实信息传播者接触,会以 η_2 的概率转变为真实信息传播者。

基于平均场理论,利用微分动力方程表示 SIOCER 模型。根据图1的状态转移关系图可得到传播动力学方程为:

$$\begin{cases} \dot{S} = -\alpha_1 \cdot S \cdot I - \alpha_2 \cdot S \cdot (O + C + E), \\ \dot{I} = \alpha_1 \cdot S \cdot I + (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot I \cdot (C + O + E) + \eta_2 \cdot R_2 \cdot I - \gamma_1 \cdot I, \\ \dot{O} = \alpha_2 \cdot S \cdot (O + C + E) - (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot I \cdot (C + O + E) + \eta_1 \cdot R_1 \cdot (C + O + E) - \beta \cdot O - \delta \cdot O - \gamma_2 \cdot O, \\ \dot{C} = \beta \cdot O - \gamma_2 \cdot C, \\ \dot{E} = \delta \cdot O - \gamma_2 \cdot E, \\ \dot{R}_1 = \gamma_1 \cdot I - \eta_1 \cdot R_1 \cdot (C + O + E), \\ \dot{R}_2 = \gamma_2 \cdot (C + O + E) - \eta_2 \cdot R_2 \cdot I, \end{cases} \quad (1)$$

$S(t)$ 、 $I(t)$ 、 $O(t)$ 、 $C(t)$ 、 $E(t)$ 、 $R_1(t)$ 、 $R_2(t)$ 分别表示未知者、真实信息传播者、普通传播者、受控者、逃逸者、恢复者1以及恢复者2在 t 时刻的密度。因此:

$$S(t) + I(t) + O(t) + C(t) + E(t) + R_1(t) + R_2(t) = 1.$$

考虑到模型的实际意义,只需在可行域 $\Omega = \{(S, I, O, C, E, R_1, R_2) | S, I, O, C, E, R_1, R_2 \geq 0, 0 \leq N(t) \leq 1\}$ 内对其进行定性分析。假设 $(S, I, O, C, E, R_1, R_2)$ 是模型(1)的一个解,可以证明它是非负且有界的,并且给出的可行区域是正不变的。模型(1)中参数如表1所示。

表1 模型(1)中的参数

参数	定义
α_1	真实信息的传播率
α_2	虚假信息的传播率
θ	受控者传播的受限率
φ_1	虚假信息传播者转化为真实信息传播者的比例
φ_2	真实信息传播者转化为虚假信息传播者的比例
β	虚假信息的管控强度
δ	虚假信息的逃逸度
γ_1	真实信息传播者的遗忘率
γ_2	虚假信息传播者的遗忘率
η_1	恢复者1转变为传播真实信息的人的比例
η_2	恢复者2转变为传播虚假信息的人的比例

2 理论分析

2.1 均衡点的存在性

根据模型 (1), 可知:

$$\begin{cases} -\alpha_1 \cdot S \cdot I - \alpha_2 \cdot S \cdot (\theta \cdot C + O + E) = 0, \\ \alpha_1 \cdot S \cdot I + (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot I \cdot (C + O + E) + \eta_2 \cdot R_2 \cdot I - \gamma_1 \cdot I = 0, \\ \alpha_2 \cdot S \cdot (\theta \cdot C + O + E) - (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot I \cdot (C + O + E) + \\ \eta_1 \cdot R_1 \cdot (C + O + E) - \beta \cdot O - \delta \cdot O - \gamma_2 \cdot O = 0, \\ \beta \cdot O - \gamma_2 \cdot C = 0, \\ \delta \cdot O - \gamma_2 \cdot E = 0, \\ \gamma_1 \cdot I - \eta_1 \cdot R_1 \cdot (C + O + E) = 0, \\ \gamma_2 \cdot (C + O + E) - \eta_2 \cdot R_2 \cdot I = 0, \end{cases} \quad (2)$$

可解得均衡点 $E_0 = (1, 0, 0, 0, 0, 0)$, $E_1^* = (S^*, I^*, O^*, C^*, E^*, R_1^*, R_2^*)$,

$$E_2^* = (S', I', O', C', E', R_1', R_2').$$

其中,

$$\begin{cases} S^* = \frac{((-\varphi_1 + \varphi_2)O + \gamma_1)\gamma_2 + O^*(\beta + \delta)(-\varphi_1 + \varphi_2)(\beta\theta + \delta + \gamma_2)\alpha_2 + \gamma_2^2\alpha_1(\beta + \delta + \gamma_2)}{\alpha_1\alpha_2\gamma_2(\beta\theta + \delta + \gamma_2)}, \\ I^* = -\frac{\alpha_2(\beta\theta + \delta + \gamma_2)}{\alpha_1\gamma_2}O^*, \\ C^* = \frac{\beta}{\gamma_2}O^*, \\ E^* = \frac{\delta}{\gamma_2}O^*, \\ R_1^* = -\frac{\alpha_2\gamma_1(\beta\theta + \delta + \gamma_2)}{\alpha_1\eta_1(\beta + \delta + \gamma_2)}, \\ R_2^* = -\frac{\alpha_1\gamma_2(\beta + \delta + \gamma_2)}{\alpha_2\eta_2(\beta\theta + \delta + \gamma_2)}. \end{cases}$$

$$\begin{cases} S' = 0, \\ I' = -\frac{\gamma_2(\beta + \delta + \gamma_2)}{(\varphi_1 - \varphi_2)(\beta + \delta + \gamma_2)O' - \gamma_1\gamma_2}O', \\ C' = \frac{\beta}{\gamma_2}O', \\ E' = \frac{\delta}{\gamma_2}O', \\ R_1' = -\frac{\gamma_2^2\gamma_1}{((\varphi_1 - \varphi_2)(\beta + \delta + \gamma_2)O' - \gamma_1\gamma_2)\eta_1}, \\ R_2' = \frac{-(\varphi_1 - \varphi_2)(\beta + \delta + \gamma_2)O' + \gamma_1\gamma_2}{\eta_2\gamma_2}. \end{cases}$$

显然, 正的均衡点只有 $E_0 = (1, 0, 0, 0, 0, 0)$ 。

2.2 基本再生数

利用下一代矩阵法^[16]求模型 (1) 的基本再生数。记 $X = (I, O, C, E)^T$, $F(X)$ 表示新的被传播信息的矩阵, $V(X)$ 表示信息传播方程组间的转移矩阵, 从模型 (1) 中我们可以得到:

$$F(X) = \begin{bmatrix} \alpha_1 SI \\ \alpha_2 S(\theta C + O + E) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$V(X) = \begin{bmatrix} -(\varphi_1 - \varphi_2)I(C + O + E) - \eta_2 R_2 I + \gamma_1 I \\ (\varphi_1 - \varphi_2)I(C + O + E) + \eta_1 R_1(C + O + E) + (\beta + \delta + \gamma_2)O \\ -\beta O + \gamma_2 C \\ -\delta O + \gamma_2 E \end{bmatrix}$$

在无传播平衡点 E_0 处, $F(X)$ 与 $V(X)$ 的雅可比矩阵分别为:

$$F = \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2 & \alpha_2\theta & \alpha_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} \gamma_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta + \delta + \gamma_2 & 0 & 0 \\ 0 & -\beta & \gamma_2 & 0 \\ 0 & -\delta & 0 & \gamma_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

因此, 模型 (1) 的基本再生数为:

$$R_0 = \rho(FV^{-1}) = \max \left\{ \frac{\alpha_1}{\gamma_1}, \frac{\alpha_2}{\beta + \delta + \gamma_2} + \frac{\alpha_2\theta\beta}{(\beta + \delta + \gamma_2)\gamma_2} + \frac{\alpha_2\delta}{(\beta + \delta + \gamma_2)\gamma_2} \right\} \quad (5)$$

若 $R_0 < 1$, 则信息没有广泛传播, 逐渐淡出人们的生活; 若 $R_0 > 1$, 则信息在网络社区中广泛传播。

3 数值模拟

在这里, 为了验证模型的有效性, 利用 MATLAB2023a 对上述建立的模型进行数值模拟。假设信息传播初始阶段各类人的密度分别为 $S(0)=0.96$, $I(0)=0.02$, $O(0)=0.02$, $C(0)=0$, $E(0)=0$, $R_1(0)=0$, $R_2(0)=0$ 。

取 $\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.3$, $\theta=0.5$, $\varphi_1=0.2$, $\varphi_2=0.2$, $\beta=0.3$, $\delta=0.2$, $\gamma_1=0.1$, $\gamma_2=0.15$, $\eta_1=0.1$, $\eta_2=0.1$ 。此时, 基本再生数 $R_0 \approx 2.57$, 虚假信息广泛传播, 最终达到稳定后只剩下 S 、 R_1 、 R_2 这三类人。各类人的演化结果如图 2 所示。

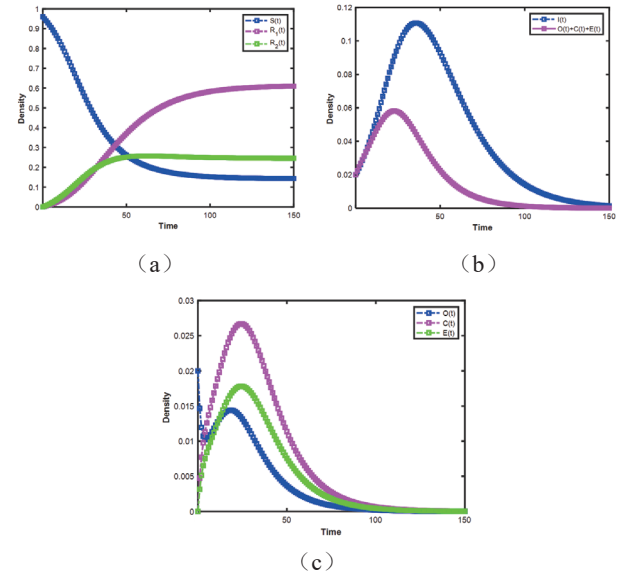


图 2 各类人的演化结果

由图 2 可知, 随着时间的推移, 未知者逐渐下降, 恢复者逐渐上升, 两者最终都趋于稳定值。如未知者的初始密度与未知者稳定时的密度差为信息传播的最终规模, 则信息传播最终规模也趋于稳定。真实信息传播者与虚假信息传播者都有峰值出现, 且真实信息传播者的峰值高于虚假信息传播者, 对于虚假信息传播者来说, 受控者的峰值最高。

考虑虚假信息的受控程度 β 对信息传播的影响。取 $\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.3$, $\theta=0.5$, $\varphi_1=0.2$, $\varphi_2=0.2$, $\delta=0.2$, $\gamma_1=0.1$,

$\gamma_2=0.15$, $\eta_1=0.1$, $\eta_2=0.1$, 遍历 $\beta \in [0, 1]$, 最终感染规模、真实信息传播者和虚假信息传播者随参数 β 的变化以及真实信息传播者、虚假信息传播者这两类人的变化结果如图 3 所示。真实信息传播者以及虚假信息传播者的密度指的是整个过程中的平均密度。

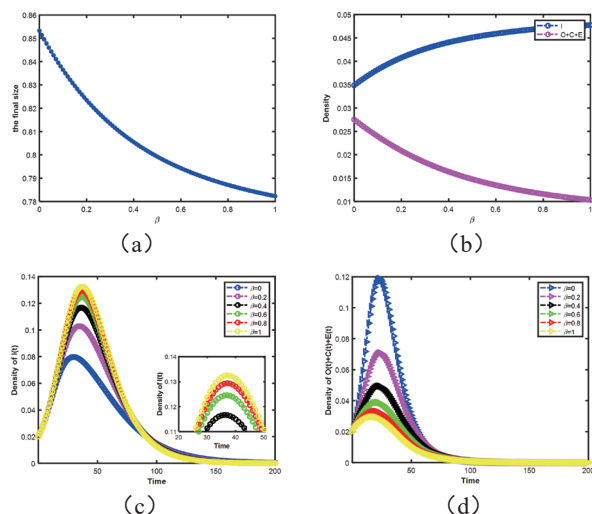


图3 最终感染规模、真实信息传播者和虚假信息传播者随参数 β 的变化以及真实信息传播者、虚假信息传播者这两类人的变化结果

由图 3 (a) (b) 可知, 随着虚假信息受控强度 β 的增大, 信息传播最终规模逐渐减小, 真实信息传播者逐渐增大, 虚假信息传播者逐渐减小。值得注意的是, 当 $\beta \leq 0.6$ 时, 随着 β 的增大, 信息传播最终规模的减少幅度、真实信息传播者的增长幅度、虚假信息的减少幅度较大; 当 $\beta > 0.6$ 时, 随着 β 的增大, 此时信息传播最终规模的减少幅度、真实信息传播者的增长幅度、虚假信息的减少幅度相对之前变小了。具体而言, 由图 3 (c) (d) 可知, 当 $\beta > 0.6$ 时, 随着虚假信息的管控强度 β 的增大, 真实信息传播者和虚假信息传播者的峰值相差几乎不大, 即对于虚假信息的管控, 到达某一定程度后, 增强虚假信息的管控效果比较小。如果取传播者达到稳定时的时间为信息传播持续时间, 那么从图 3 (c) (d) 中可知, 随着 β 的增大, 信息传播持续时间逐渐变短。因此, 加大对虚假信息的管控力度, 有助于达到抑制虚假信息传播的目的, 促进真实信息的传播, 并且会缩短信息传播的持续时间。此外, 也可以发现, 对于虚假信息的管控力度要适中, 因为较大的管控力度对于虚假信息的抑制起到的作用较小, 但可能会浪费较多的人力、物力。

考虑逃逸度 δ 对信息传播的影响。取 $\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.3$, $\theta=0.5$, $\varphi_1=0.2$, $\varphi_2=0.2$, $\beta=0.3$, $\gamma_1=0.1$, $\gamma_2=0.15$, $\eta_1=0.1$, $\eta_2=0.1$, 遍历 $\delta \in [0, 1]$, 最终感染规模、真实信息传播者和虚假信息传播者随参数 δ 的变化以及真实信息传播者、虚假信息传播者这两类人的变化结果如图 4 所示。

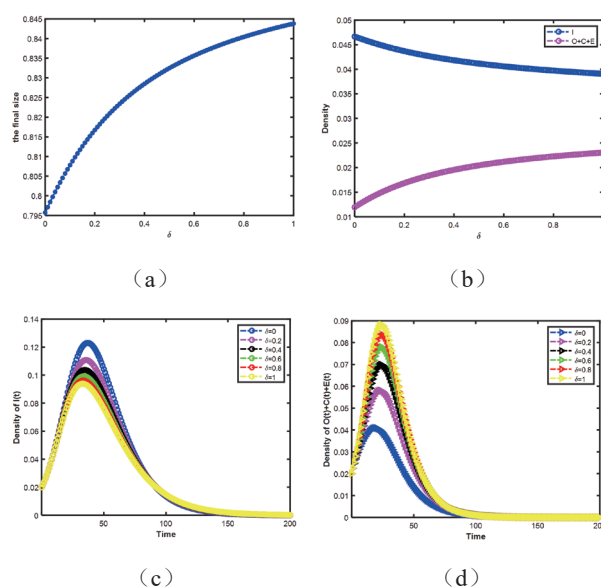


图4 最终感染规模、真实信息传播者和虚假信息传播者随参数 δ 的变化以及真实信息传播者、虚假信息传播者这两类人的变化结果

由图 4 可知, 随着逃逸度 δ 的增大, 信息传播最终规模逐渐增大, 真实信息传播者逐渐减小, 虚假信息传播者逐渐增大。具体而言, 由图 4 (c) (d) 可知, 随着 δ 的增大, 真实信息传播者峰值逐渐减少, 虚假信息传播者的峰值逐渐增大, 并且信息传播的持续时间逐渐变长。因此, 逃逸度的增加促进了虚假信息的传播, 抑制了真实信息的传播, 延长了信息传播的持续时间。

考虑主流媒体公信力 φ_1 对信息传播的影响。取 $\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.3$, $\theta=0.5$, $\varphi_2=0.2$, $\beta=0.3$, $\delta=0.2$, $\gamma_1=0.1$, $\gamma_2=0.15$, $\eta_1=0.1$, $\eta_2=0.1$, 遍历 $\varphi_1 \in [0, 1]$, 最终感染规模、真实信息传播者和虚假信息传播者随参数 φ_1 的变化以及真实信息传播者、虚假信息传播者这两类人的变化结果如图 5 所示。

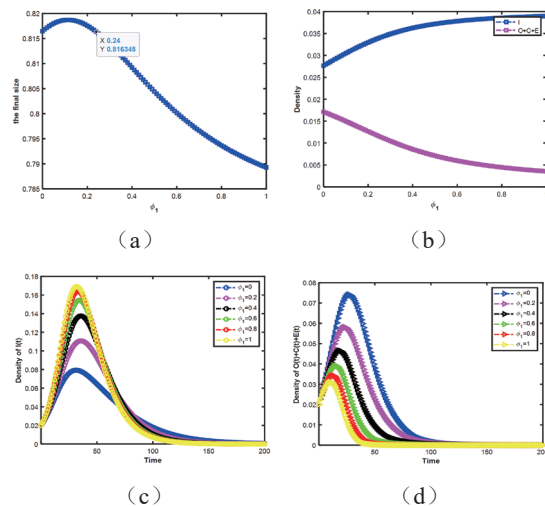


图5 最终感染规模、真实信息传播者和虚假信息传播者随参数 φ_1 的变化以及真实信息传播者、虚假信息传播者这两类人的变化结果

由图 5 (a) 可知, 当主流媒体公信力较小时 ($\varphi_1 \leq \varphi_2$), 此时, 虚假信息的吸引力大于真实信息的吸引力, 信息传播最终规模较大。但是, 结合图 5 (b) 可知, 真实信息传播者仍然大于虚假信息传播者, 即真实信息的影响力仍然大于虚假信息的影响力, 这是虚假信息的受控度大于逃逸度导致的。当 $\varphi_1 > 0.24$ 时, 随着 φ_1 的增大, 信息传播规模逐渐减少。由图 5 (c) (d) 可知, φ_1 越大, 真实信息传播者的峰值越大, 虚假信息传播者的峰值越小, 并且信息传播持续时间越短。因此, 主流媒体公信力是控制虚假信息传播的一个重要因素, 主流媒体要重视自己的公信力, 当出现突发事件时, 要保证及时准确地向公众发布信息。当主流媒体具有足够的公信力, 真实信息具有较高的权威性, 信息受到公众的关注时, 虚假信息的传播才会受到约束。

4 结论

本文提出了一种更为有效和实用的信息传播模型 (即 SIOCER 模型) 来研究突发事件中信息的传播和交互。把虚假信息传播者分为 3 类: 普通传播者、受控者以及逃逸者。考虑虚假信息的受控强度以及媒体公信力对信息传播的影响, 建立了 SIOCER 模型。此外, 对模型进行了理论分析, 计算了该模型的传播阈值。最后, 通过数值模拟研究了影响信息传播的因素, 主要发现可以概括为以下几点。

(1) 加大对虚假信息的管控力度, 有助于达到抑制虚假信息传播的目的, 促进真实信息的传播, 并且会缩短信息传播的持续时间。但是, 对于虚假信息的管控力度要适中, 因为较大的管控力度对于虚假信息的抑制起到的作用较小, 但可能会浪费较多的人力、物力。

(2) 逃逸度的增加, 促进了虚假信息的传播, 抑制了真实信息的传播, 延长了信息传播的持续时间。

(3) 主流媒体公信力是控制虚假信息传播的一个重要因素, 主流媒体要重视自己的公信力, 当出现突发事件时, 要保证及时准确地向公众发布信息。当主流媒体具有足够的公信力, 真实信息具有较高的权威性, 信息受到公众的关注时, 虚假信息的传播才会受到约束。

参考文献:

- [1] BAKSHY E, ROSENN I, MARLOW C, et al. The role of social networks in information diffusion[C]//Proceedings of the 21st international conference on World Wide Web. New York: ACM, 2012: 519-528.
- [2] ACERBI A. Cognitive attraction and online misinformation[J]. Palgrave communications, 2019, 5(1): 60442188.
- [3] GARRETT R K, LEE I C. Social media's contribution to political misperceptions in US Presidential elections[J]. PloS one, 2019, 14(3): e0213500.
- [4] BARUA Z, BARUA S, AKTAR S, et al. Effects of misinfor-

mation on COVID-19 individual responses and recommendations for resilience of disastrous consequences of misinformation[J]. Progress in disaster science, 2020, 8: 100119.

- [5] DALEY D J, KENDALL D G. Epidemics and rumours[J]. Nature, 1964, 204(4963): 1118.
- [6] MAKI D P, THOMPSON M. Mathematical models and applications: with emphasis on the social, life and management sciences[M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1973.
- [7] ZHAO L, WANG J, CHEN Y, et al. SIHR rumor spreading model in social networks[J]. Physica A: statistical mechanics and its applications, 2012, 391(7): 2444-2453.
- [8] XIA L L, JIANG G B, SONG B, et al. Rumor spreading model considering hesitating mechanism in complex social networks[J]. Physica A: statistical mechanics and its applications, 2015, 437: 295-303.
- [9] WANG Y Q, YANG X Y, HAN Y L, et al. Rumor spreading model with trust mechanism in complex social networks[J]. Communications in theoretical physics, 2013, 59(4): 510-516.
- [10] GUO H, YAN X. Dynamic modeling and simulation of rumor propagation based on the double refutation mechanism[J]. Information sciences, 2023, 630: 385-402.
- [11] TIAN Y, DING X J. Rumor spreading model with considering debunking behavior in emergencies[J]. Applied mathematics and computation, 2019, 363: 124599.
- [12] 杨仁彪, 尹春晓. 社交平台视域下考虑免疫逃逸效应的谣言传播与管控模型研究[J]. 情报科学, 2024, 42(1): 59-67.
- [13] ZHANG Y, XU J, WU Y. A rumor control competition model considering intervention of the official rumor-refuting information[J]. International journal of modern physics C, 2020, 31(9): 2050123.
- [14] RAN M, CHEN J. An information dissemination model based on positive and negative interference in social networks[J]. Physica A: statistical mechanics and its applications, 2021, 572: 125915.
- [15] VOSOUGHI S, ROY D, ARAL S. The spread of true and false news online[J]. Science, 2018, 359(6380): 1146-1151.
- [16] VAN DEN DRIESSCHE P, WATMOUGH J. Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission [J]. Mathematical biosciences, 2002, 180: 29-48.

【作者简介】

高婷 (1996—), 女, 山西忻州人, 硕士, 助教, 研究方向: 复杂系统建模、传播动力学。

卫遥 (1996—), 男, 山西运城人, 硕士, 助教, 研究方向: 信息资源管理。

(收稿日期: 2024-07-18)