

基于不完全信息演化博弈模型的网络舆情传播羊群行为*

刘锦德, 刘咏梅

(中南大学商学院, 湖南长沙 410012)

摘要:以网络舆情传播过程中大部分人对事实不了解为前提,在这部分群体内构建基于不完全信息环境的两人对称演化博弈模型。提出了两人对称博弈矩阵来决定个体策略的选择,建立了复制动态方程说明不同策略群体比例的演化方向,演化时引入个体的记忆长度,根据设定的交互规则更新各自的观点值及记忆列表。仿真分析模型表明,在此环境中很容易产生羊群行为,群体内的个体都选择盲从并且观点保持一致。此外,羊群行为的集聚产生受多种因素影响,主要与采取分析策略的交互利益、成本系数以及记忆长度有关。本文对科学分析引导网络舆情的传播有一定实际意义。

关键词:两人对称演化博弈;复制动态方程;网络舆情;羊群行为

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-2486(2013)05-0096-06

Herd behavior in the dissemination of public opinion on the internet based on evolutionary game model with incomplete information

LIU Jinde, LIU Yongmei

(Business School, Central South University, Changsha 410012, China)

Abstract: The spread of public opinion across the Internet in China was proposed by constructing a two-player symmetric evolutionary game model with incomplete information, since most of the players have limited knowledge about the spread and exact nature of public opinion. The two-player symmetric game model was presented to decide the strategic choice of players, and the replicated dynamic equation was built to explain the evolution directions of different strategic groups. The memory length of players, updates views and memory list were introduced according to the interaction rules. The simulation result shows that it is easy for players to follow trends under such circumstances, leading to herd behavior and a world in which most players adopt the same view. Furthermore, herd behavior is affected by a series of factors; most notably analysis-strategy based interactive interests, cost coefficients, and memory length. This research offers insights for practical application on how to analyze and guide the spread of public opinion on the internet.

Key words: two-player symmetric evolutionary game; replicated dynamic equation; internet public opinion; herd behavior

随着 Twitter、Facebook 等网络工具和社交媒体的流行,网络舆情传播出现了新的发展方式和特点,由此产生的社会影响也更加深远。近年来,网络舆情传播的新方式、新特点越来越多地出现在伦敦骚动、茉莉花革命、占领华尔街等大型群体事件中,引发了管理者和人们的广泛关注,许多学者也对这些以新工具、新媒体为载体的舆情传播行为产生了极大的研究兴趣。

Hegselmann 等^[1]基于现实社会中人们之间相互影响的具体情境,提出“有限信任(Bounded Confidence)”模型,并对其中的观点交换机制进行仿真研究。Weisbuch^[2]和 Lorenz^[3]在此研究框架下引入信任阈值,调整群体交互的速度与条件,进一步扩展该领域的研究。Kurmyshev^[4]放宽前

人研究中群体同质性的假设,研究异质性社会网络中的观点交换机制。Sznajd 等^[5]以物理学中的磁性粒子的概念为理论基础,采用蒙特卡罗的计算机仿真,研究封闭社区的舆论演化过程,并应用于一些现实社会现象,但它假设个体的观点交互方式与实际有一定的差别。以上研究结果有相同之处,即发现在舆论动态演化过程中有观点收敛的情况,这种情况被称为羊群行为。

羊群行为最初是指动物(羊、牛等畜类以及鸟类等)跟随领导者的以群体状态移动与觅食的行为,在行为科学中,羊群行为被用来研究群体行为,指在不确定性和模糊性存在的环境中,一种固定行为模式在人群间传播的决策机制。Shiller^[6]定义了羊群行为,主要从不完全信息理论研究羊

* 收稿日期:2013-01-30

基金项目:国家自然科学基金委创新研究群体项目(70921001);教育部博士点基金资助项目(20110162110065);湖南省哲学社会科学基金资助项目(12YBB271)

作者简介:刘锦德(1983—),男,湖南湘乡人,高级工程师,博士研究生,E-mail:liujinde@126.com

群行为。Scharfstein 和 Stein^[7] 研究金融投资中的羊群行为,他们认为投资者会根据贝叶斯后验分布来推断信息,从而形成信息流的层叠。Banerjee^[8] 提出了基于序列决策的羊群模型,在这个模型中,每个决策者在进行决策前都观察前面的决策者作出的决策,对该决策而言,这种行为是理性的,因为其前面的决策者都可能拥有一些重要的信息,于是该决策者可能模仿别人的决策而不是使用自己的信息。在此基础上,Bikhchandani、Hirshleifer 和 Welch^[9] 基于信息层叠产生机制提出了羊群行为的学习模型。Avery 和 Zensky^[10] 对不对称信息进行多维度的探讨,改进了羊群学习模型并将之应用于股市分析,随后,Cipriani^[11] 和 Hott^[12] 在金融市场中更具体地研究投资者的羊群行为。Hirshleifer^[13] 从社会学的角度更为全面地考察了羊群行为,认为个人的思想、感情、行为可以通过多种途径受到他人的影响,即语言、对他人行为的观察和对他人行为结果的观察。这种影响可能包括完全理性的学习、准理性的过程甚至是一种对个人决策毫无帮助的更新过程,这种影响可能导致个体行为的聚集。Celen 和 Kariv^[14] 则采取实验室实验的方法,甄别出信息盲从与羊群行为的差异,并建立起社会学习模型来探讨羊群行为。

国内学者对于舆情传播大多是从系统和观点传播动力学的角度去分析,如陈波^[15] 将传统的传染病模型推广到泛在媒体的环境中,研究开放系统中舆情传播的特点,钱颖^[16] 基于 SIR 模型建立了微博舆情传播模型,王根生^[17] 基于元胞自动机原理构建了迁移元胞自动机网络演化模型(M2CA),狄国强^[18] 建立了网络舆情事件的系统动力学模型,朱恒民^[19] 在分析网页间的链接关系与网页内容关联性的基础上提出了舆情演化的链接网络图概念,唐晓波^[20] 将共词网络分析和复杂网络的思想与方法拓展到微博舆情分析中,设计了基于网络可视化的微博舆情分析模型,韩少春等^[21] 以演化博弈的方法研究舆论传播的羊群效应,发现代理人的记忆长度、参与成本、代理人类型比例都会影响羊群效应产生的时间,他将人群分为 A 类(掌握事件内情者)和 B 类(不知情的平民百姓,下同),并作 A 与 B 的博弈分析,而在实际生活中,掌握事件内情的人往往只占很少一部分,大部分是不了解的。也有用微分方程作为理论基础来描述传播行为的,如赵楠楠^[22] 建立了描述 SARS 疫情传播的微分方程模型,以及专门针对复杂网络进行的舆情传播研究,如潘新^[23] 等。

从现有文献来看,对于舆情传播的定量研究并不丰富,尤其是全网络舆情传播的定量研究更为如此。本文主要研究大部分不知真相的人在面对网络舆情事件时策略选择的博弈分析,类似于 B 与 B 的博弈分析,然后进行仿真分析,探讨是否存在羊群行为和各参数对结果的影响。

1 网络舆情两人对称演化博弈模型

1.1 网络舆情静态博弈模型

假设发生新的网络舆情事件时,群体内每个人对事件持有一个观点 $x \in [0,1]$,人们对这个事件有两种策略可供选择:盲从(用 M 表示)、分析(用 N 表示)。当人们在面对具体的事件信息时,可以认为是与具体的一个人在交流,即主体是以一一配对的方式随机交互的,组成无数同质且独立的博弈单元,且个体在选择策略时并不知道对方一定会选择哪种策略,由此构成一个不完全信息博弈模型^[24]。

对信息的分析需要花费一定的智力资源与时间,但是能使信息更接近事实,信息有效性也更大,因此主体采取分析策略时,能使自己和交互对象分别得到一个交互收益 γ ,同时自己在博弈中能获得额外分析收益 δ ,但需支付分析成本 c 。主体采取盲从策略时,对信息不加任何处理,对信息量也没有任何贡献,没有额外分析收益,也不用付出分析成本。

表 1 两人对称静态博弈

Tab. 1 Two-player symmetric game static model

		主体 2	
		M	N
主体 1	M	(0,0)	($r, r + \delta - c$)
	N	($r + \delta - c, r$)	($2r + \delta - c, 2r + \delta - c$)

在这个博弈中会出现三种不同情形:(1)当主体均采取盲从策略时,双方均无成本也无收益;(2)当主体采取不一致策略,盲从的主体获得交互收益,但并不付出成本,而分析的主体通过付出分析成本获得交互收益和分析收益;(3)当主体均采取分析策略时,双方均付出分析成本,并同时获得分析收益和交互收益,如表 1 所示。

在博弈过程中,假定个体在选择策略时会先估计博弈对手的策略,然后选择收益期望更大的策略。令博弈对手选择盲从的概率为 q ,则选择分析的概率为 $1 - q$,那么个体选择不同策略的收益期望分别是

$$G_M = q \cdot 0 + (1 - q)r = (1 - q)r \quad (1)$$

$$\begin{aligned} G_N &= q(r + \delta - c) + (1 - q)(2r + \delta - c) \\ &= (1 - q)r + r + \delta - c \end{aligned} \quad (2)$$

那么该个体最后策略的选择取决于 $\Delta G = G_N - G_M = r + \delta - c$, 当 $\Delta G < 0$ 时, 选择盲从策略, 当 $\Delta G > 0$ 时, 选择分析策略, $\Delta G = 0$ 时, 随机选择一个策略。

考虑到人们在交流时的难易程度和交流收获很大程度上与双方的观点差距有关系, 本文假设分析额外收益和分析成本与博弈双方的观点差 $d = |x - x'|$ 有关, 并取 $\delta = 1/d$, $c = y/d^{[21]}$, 其中分析成本与额外收益成比例, 比例系数为 y , 则 $\Delta G = r + (1 - y)/d$ 。值得注意的是, 当 $y \leq 1$ 时, 恒有 $\Delta G > 0$, 此时采取分析策略的收益期望总是比盲从策略大, 所有人都会采取分析策略, 盲从者比例为 0, 这是一种理想的社会状态, 不在本文讨论范围内, 为了研究群体盲从行为的产生条件, 以下选取参数 y 时均在 $y > 1$ 范围内考虑。

1.2 网络舆情动态传播模型

将上述个体的静态博弈模型扩展为群体的演化传播模型, 假设群体中个体的数量为 n , 用 $p(t)$ 来表示 t 时刻群体内盲从个体的百分比。在演化过程的每一个时间步骤中, 将所有个体随机分配。

此时群体的平均期望得益为

$$\begin{aligned} \bar{G} &= p \cdot G_M + (1 - p) \cdot G_N \\ &= (1 - p)(r + \delta - c) + (1 - q)r \end{aligned}$$

则盲从者比例的动态变化速度可以用如下的复制动态方程表示:

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dt} &= p(G_M - \bar{G}) \\ &= -p(1 - p)(r + \delta - c) = -p(1 - p)\Delta G \end{aligned}$$

该方程的意义是, 盲从类型的博弈方的比例的变化率与该类型的博弈方的比例成正比, 也与该博弈方的得益大于所有博弈方平均得益的幅度成正比, 稳定状态即各博弈方的比例不再变化, 也就是 $\frac{dp}{dt} = 0$ 。

当 $\Delta G = 0$ 时, $\frac{dp}{dt} = 0$ 恒成立, 即所有的 p 都是稳定状态, 比例为 p 的个体采取盲从策略, 比例为 $1 - p$ 的个体采取分析策略; $\Delta G > 0$ 时, $\frac{dp}{dt} \leq 0$, $p = 0$ 和 $p = 1$ 是 p 的稳定状态, 其中 $p = 0$ 是进化稳定策略, 所有个体均采用分析策略; $\Delta G < 0$ 时, $\frac{dp}{dt} \geq 0$, $p = 0$ 和 $p = 1$ 是 p 的稳定状态, 其中 $p = 1$ 是进化稳定策略, 所有个体均采用盲从策略。

本文采用连续的观点模型, 将观点定义在

$[0, 1]$ 区间内, 当两个个体进行观点交互时, 根据 Deffaunt 模型^[23] 的交互规则改变各自的观点值。

把从群体中选出两个不同个体的观点取值用 x 和 x' 表示, 同时限制其交互的阈值为 ε , 只有当 $|x - x'| < \varepsilon$ 时, 两个个体方可进行观点的交互, 并且观点的交互由如下两条规则所定义:

$$x = x + \mu(x' - x) \quad (3)$$

$$x' = x' + \mu(x - x') \quad (4)$$

参数 μ 在 Deffaunt 模型中十分重要, 通过对 μ 的调节可以获得不同性质的群体, 例如当 $\mu = 0$ 时, 参与交互的双方个体将不会发生任何变化, 当 $\mu = 1/2$ 时, 参与交互的双方个体将会得到双方观点的均值。此两种情形表明了不同特性的交互个体, μ 较小时, 对应策略较为强硬的个体, 不轻易改变自身的观点, 而 μ 较大时, 则较容易对观点选择策略进行妥协。

通常参数 ε 被理解为一种社会距离, 产生这种社会距离的因素可能有社会、文化、经济等方面。社会距离较近的个体更容易进行观点交互, 设定参数 ε 是对这种交互概率的一种简化, 考虑到人们在选择是否与他人进行观点交互时主要还是根据交互的收益情况, 即 ε 与 r 有关, 本文设定 $\varepsilon = k/r (0 < \varepsilon < 1)$ 。

同时假设人们在交互过程中的策略选择与其以前接触的其他个体的策略选择有关, 也可以认为是与人们的记忆有关, 令每个个体的记忆长度为 m , 其每参加一次交互, 就将与之进行交互的个体的策略记录到自己的记忆中, 同时删除与这次交互距离最远的记忆, 以保证记忆的长度不变。这样每次在与交互对手进行博弈的时候, 该个体就能根据自己的记忆来估计对方选择盲从的概率 q 。然后根据(1)、(2)式计算 ΔG 的大小, 最后选择收益期望较大的策略。

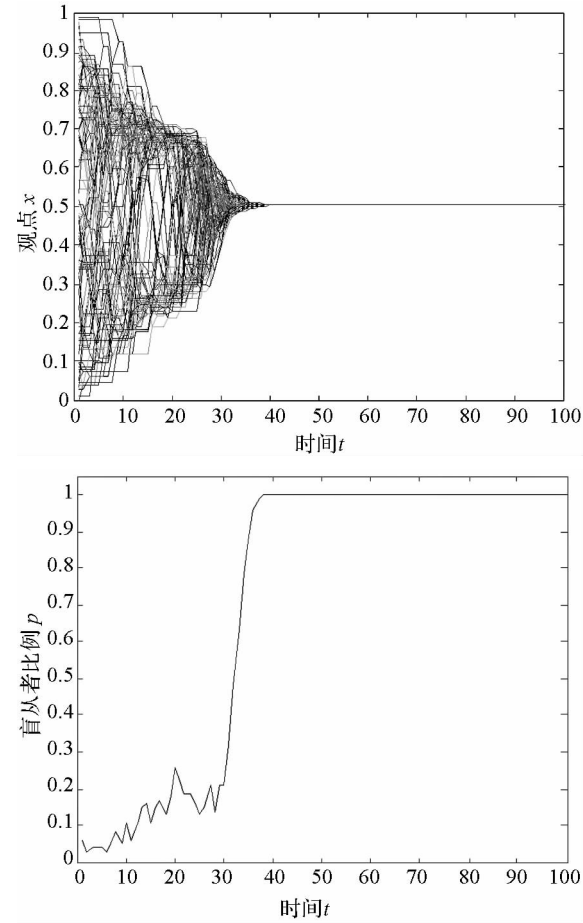
本文在设计仿真程序时令盲从策略的记忆为 1, 分析策略的记忆为 0, 若在 t 时刻个体 a_i 与个体 a_j 组成博弈单元, $a_i(t)$ 的记忆向量为 $l_i(t) = (1, 1, \dots, 0, 1)$, $a_j(t)$ 的记忆向量为 $l_j(t) = (0, 1, \dots, 1, 0)$, 那么 $q_i(t) = (1 + 1 + \dots + 0 + 1)/m$, $q_j(t) = (0 + 1 + \dots + 1 + 0)/m$, 此时若通过计算后再重新选择策略时, $a_i(t) = 0$, $a_j(t) = 1$, 那么更新两人的记忆向量分别为 $l_i(t+1) = (0, 1, 1, \dots, 0)$, $l_j(t+1) = (1, 0, 1, \dots, 1)$, 然后依此循环计算。

2 仿真与结果分析

为了考察模型的性质和实用性, 对演化博弈模型进行了不同参数集下的模拟仿真, 仿真过程

中假设交互时双方都是从满足 1.1 中所设定条件群体中随机选取的,这样保证了每个个体之间都有进行交互的可能,每个个体的初始观点都在 $[0,1]$ 区间内随机产生,初始记忆向量也通过计算机随机选取。

当选取参数值为:群体规模 $n = 100$,仿真时间 $t = 100$,分析时的共同收益 $r = 1$,社会距离 ε 的系数 $k = 0.3$,交互程度 $\mu = 0.5$,分析成本系数 $y = 1.1$,记忆长度 $m = 5$ 时,系统演化过程如图 1。



($n = 100, t = 100, r = 1, k = 0.3, \mu = 0.5, y = 1.1, m = 5$)

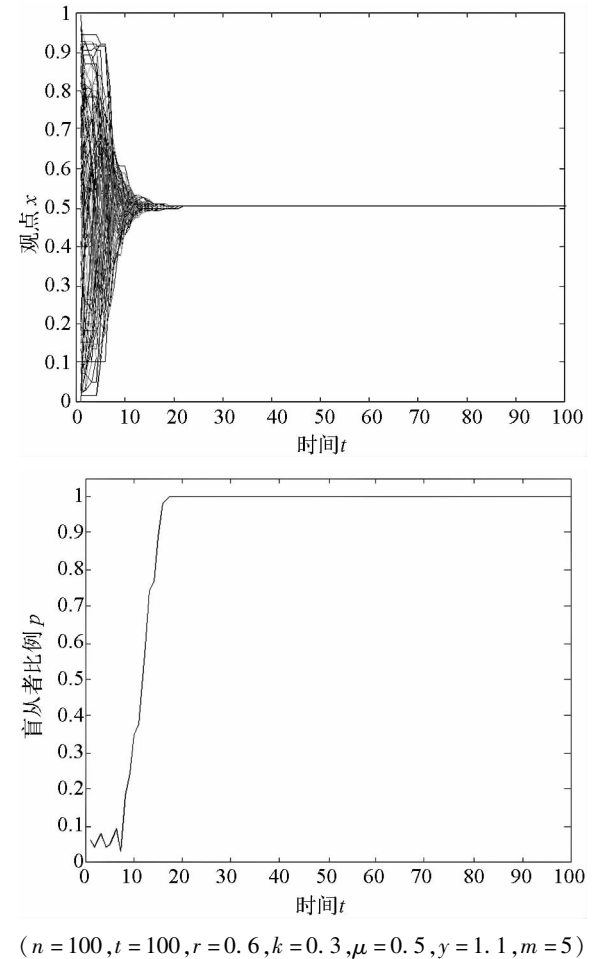
图 1 演化过程
Fig.1 Evolution chart

由仿真图可以发现,随着博弈的进行,群体观点会慢慢演化合并为一个,盲从者比例也由 0% 演化至 100%,即到最后群体内所有个体都选择不加思考,盲从舆论,可以认为产生了羊群行为。分析盲从者比例演化图可以发现,随着观点的逐渐收敛,由 $\Delta G = r + (1 - y)/d (y > 1)$ 可知,个体在交互时观点差 d 越来越小, ΔG 也随之减小,当 $\Delta G < 1$ 时,会出现更多的盲从个体,根据 1.2 中的复制动态方程可知,此时 $p = 1$ 是进化稳定策略,到最后盲从个体数量更会出现急剧增长并且很快就达到 100%,这与网络舆情事件中消息的爆炸

式扩散极为相似。

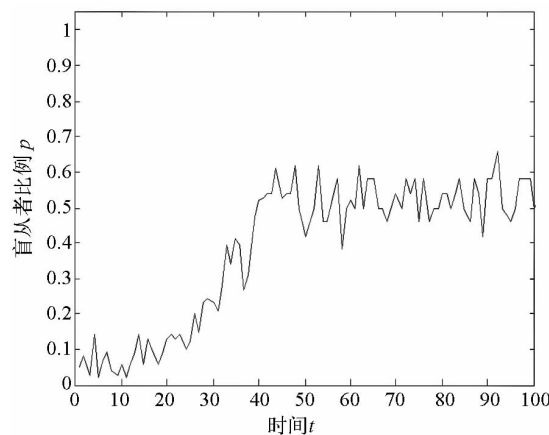
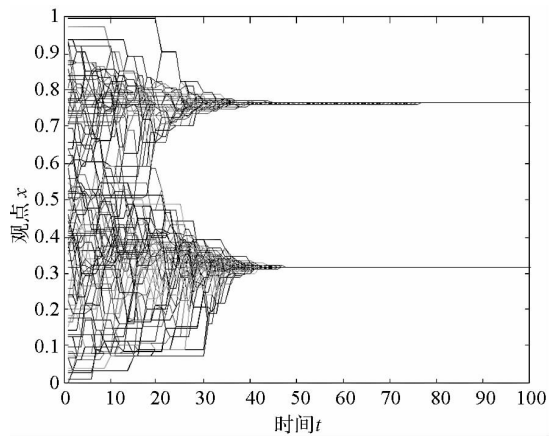
2.1 分析策略交互收益的影响

在其他参数不变的条件下,分别减小和增大 r 得到的仿真图如图 2 ~ 图 4。图 2 说明,随着收益 r 的减小,群体观点收敛得更快,并且用更短的时间就发展为完全盲从群体。图 3 说明,随着 r 的增大,群体不再收敛于 1 个观点,而是多个,此时群体内部盲从的个体数目明显减少,不再产生羊群行为,不过盲从者比例依然很高,群体内部依然存在部分严重的盲从行为。图 4 说明,当 r 越来越大时,群体内部的统一观点越来越多,群体内盲从者比例很低,已经不存在产生羊群行为的可能。以上结果综合表明,收益 r 越高,羊群行为产生所需时间越长,甚至不会产生羊群行为。因此发现网络舆情突发事件以后,预防甚至防止盲从而产生羊群行为的一个可行办法是增加人们分析事件所能得到的交互收益,如及时发布权威消息、尽早公布事件真相等。



($n = 100, t = 100, r = 0.6, k = 0.3, \mu = 0.5, y = 1.1, m = 5$)

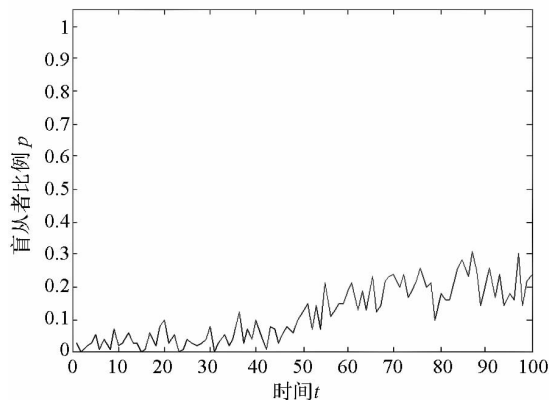
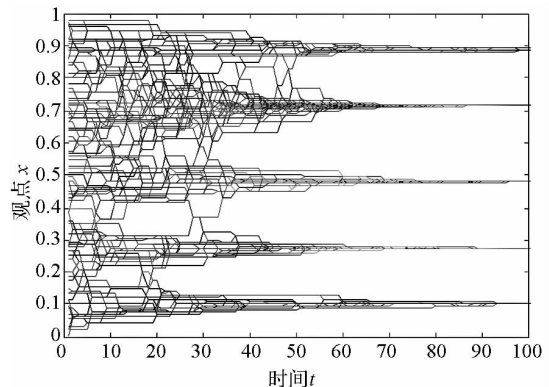
图 2 演化过程
Fig.2 Evolution chart



($n = 100, t = 100, r = 1.5, k = 0.3, \mu = 0.5, y = 1.1, m = 5$)

图 3 演化过程

Fig. 3 Evolution chart



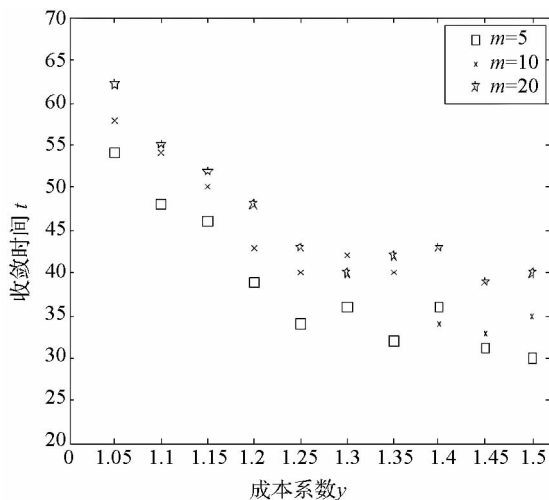
($n = 100, t = 100, r = 2.5, k = 0.3, \mu = 0.5, y = 1.1, m = 5$)

图 4 演化过程

Fig. 4 Evolution chart

2.2 分析策略成本系数和记忆长度的影响

在其他参数不变的条件下,分别改变成本系数 y 和记忆长度 m ,考察他们对收敛时间的影响。当成本系数 y 越大时,个体采取分析策略所获得的收益就越小,从而更倾向于盲从,收敛速度也越来越快,图 5 就证明了这一点。从图 5 中也可以看出,记忆长度 m 的改变对群体观点的收敛时间也有影响, m 越大,收敛时间越长,因为当 m 越大时,个体估计交互对象的盲从概率 q 变化率越小,这进一步导致个体更难改变其策略,也需要更多的时间收敛,不过这种影响不是特别明显,需要 m 改变很大时才能体现。



($n = 100, t = 100, r = 1, k = 0.3, \mu = 0.5, m = 5$)

图 5 演化过程

Fig. 5 Evolution chart

3 结论

网络通信工具及社交媒体的涌现,为网络谣言的大量滋生和广泛传播提供了技术条件和平台基础,也让人们更为重视网络舆情的科学传播。本文基于网络舆情传播过程中大部分人对事实不了解这一前提,在这部分群体内构建了不完全信息环境的网络舆情传播动态两人对称博弈,最后的仿真结果显示,在这种环境中很容易产生羊群行为,但可以从各个途径控制羊群行为产生的时间甚至阻止羊群行为的产生,主要包括(1)增加分析策略的交互收益,交互收益足够大时甚至能阻止羊群行为的产生,即及时公开真相和进展;(2)减少分析策略的成本系数,即让个体更容易通过分析策略了解事件真相;(3)提高人们对网络舆情事件的认知水平,增强其分析能力,使其在面对网络舆情事件时能科学全面地考虑更多的因素。羊群行为会导致群体内部大部分个体盲目跟随某一观点,极有可能对社会造成不良影响,但另

一方面,如果社会管理者能利用好这一行为现象,对群体作出相应的影响,也可以引导网络舆情的科学传播,这也是下一步的研究重点。

参考文献 (References)

- [1] Hegselmann R, Krause U. Opinion dynamics and bounded confidence models, analysis and simulation [J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2002, 5(3): 216 - 219.
- [2] Weisbuch G. Bounded confidence and social networks [J]. *The European Physical Journal B: Condensed Matter and Complex Systems*, 2004, 38(2): 339 - 343.
- [3] Lorenz J. Consensus strikes back in the Hegselmann-Krause model of continuous opinion dynamics under bounded confidence [J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2006, 9(1): 8 - 22.
- [4] Kurmyshev E, Hector A, Juarez R A, et al. Dynamics of bounded confidence opinion in heterogeneous social networks: Concord against partial antagonism Original Research Article [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2011, 390(16): 2945 - 2955.
- [5] Sznajd-weron K. Sznajd model and its applications [J]. *Acta physica polonica B*, 2005, 36(8): 2537 - 2547.
- [6] Shiller R. Conversation information and herd behavior [J]. *The American Economic Review*, 1995, 85(2): 181 - 194.
- [7] Scharfstein D S, Stein J C. Herd behavior and investment [J]. *American Economic Review*, 1990, 80(3): 465 - 479.
- [8] Banerjee A. A simple model of herd Behavior [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1992, 107(2): 107.
- [9] Bikhchandani S, Hirshleifer D, Welch I. A theory of fads, fashion, custom and cultural change as informational cascades [J]. *Journal of Political Economy*, 1992, 100(5): 992 - 1026.
- [10] Avery C, Zemsky P. Multidimensional uncertainty and herd behavior in financial markets [J]. *The American Economic Review*, 1998, 88(4): 724 - 748.
- [11] Cipriani M, Guarino A. Association herd behavior in financial markets: An experiment with financial market professionals [J]. *Journal of the European Economic Association*, 2009, 7(1): 206 - 233.
- [12] Hott C. Herding behavior in asset markets [J]. *Journal of Financial Stability*, 2009, 5(1): 35 - 56.
- [13] Hirshleifer D, Siew H T. Herd behavior and cascading in capital markets: a review and synthesis [J]. *European Financial Management*, 2003, 9(1): 25 - 66.
- [14] Celen B, Kariv S. Distinguishing informational cascades from herd behavior in the laboratory [J]. *The American Economic Review*, 2004, 94(2): 484 - 498.
- [15] 陈波, 于泠, 刘君亭, 等. 泛在媒体环境下的网络舆情传播控制模型 [J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(11): 2140 - 2150.
CHEN Bo, YU Ling, LIU Junting, et al. Dissemination and control model of internet public opinion in the ubiquitous media environments [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2011, 31(11): 2140 - 2150. (in Chinese)
- [16] 钱颖, 张楠, 赵来军, 等. 微博舆情传播规律研究 [J]. *情报学报*, 2012, 31(12): 1299 - 1304.
QIAN Ying, ZHANG Nan, ZHAO Laijun, et al. The spread of public sentiment on micro-blogging under emergencies [J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2012, 31(12): 1299 - 1304. (in Chinese)
- [17] 王根生, 勒中坚, 陆旭, 等. 迁移元胞自动机网络舆情演化模型 (M2CA) [J]. *情报学报*, 2011, 30(6): 570 - 576.
WANG Gensheng, LE Zhongjian, LU Xu, et al. A model for the evolution of public opinion in the web based on migration cellular automata [J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2011, 30(6): 570 - 576. (in Chinese)
- [18] 狄国强, 曾华艺, 勒中坚, 等. 网络舆情事件的系统动力学模型与仿真 [J]. *情报杂志*, 2012, 31(8): 12 - 20.
DI Guoqiang, ZENG Huayi, LE Zhongjian, et al. System dynamics modeling and simulation of internet public opinions events [J]. *Journal of Intelligence*, 2012, 31(8): 12 - 20. (in Chinese)
- [19] 朱恒民, 苏新宁, 张相斌, 等. 基于链接网络图的互联网舆情话题跟踪方法 [J]. *情报学报*, 2011, 30(12): 1235 - 1241.
ZHU Hengmin, SU Xinning, ZHANG Xiangbin, et al. A topic tracking method of internet public opinion based on link network diagram [J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2011, 30(12): 1235 - 1241. (in Chinese)
- [20] 唐晓波, 宋承伟. 基于复杂网络的微博舆情分析 [J]. *情报学报*, 2012, 31(11): 1153 - 1162.
TANG Xiaobo, SONG Chengwei. Microblog public opinion analysis based on complex network [J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2012, 31(11): 1153 - 1162. (in Chinese)
- [21] 韩少春, 刘云, 张彦超, 等. 基于动态演化博弈论的舆论传播羊群效应 [J]. *系统工程学报*, 2011, 26(2): 275 - 281.
HAN Shaochun, LIU Yun, ZHANG Yanchao, et al. Herd instinct of opinion based on dynamic evolutionary game theory [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2011, 26(2): 275 - 281. (in Chinese)
- [22] 赵楠楠, 谢文艺, 魏诚, 等. SARS 传播的数学模型 [J]. *大连海事大学学报*, 2005, 31(1): 110 - 112.
ZHAO Nannan, XIE Wenyi, WEI Cheng, et al. Analysis and construction of the mathematical model on the spread of SARS [J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 2005, 31(1): 110 - 112. (in Chinese)
- [23] 潘新. 基于复杂网络的舆情传播模型研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2010. 59 - 63.
PAN Xin. Opinion spreading models on complex networks [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010. 59 - 63. (in Chinese)
- [24] 谢识予. 经济博弈论 (第三版) [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2011, 208 - 232.
XIE Shiyu. *Economic game theory (The Third Edition)* [M]. Shanghai: Fudan University Publishing House, 2011, 208 - 232. (in Chinese)
- [25] 张立. 网络舆论传播中若干算法的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009, 70 - 81.
ZHANG Li. Research on algorithms of network based opinion propagation [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009, 70 - 81. (in Chinese)