

# 基于官方信息控制的多层网络谣言传播模型<sup>\*</sup>

杨云鹏, 樊重俊, 杨坚争, 金 阳

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

**摘 要:** 官方信息在现实生活和虚拟网络中的扩散对谣言传播具有双重影响。建立多层网络传播模型研究跨境电商新政策错误解读这一谣言传播问题, 模型上层为虚拟网络传播层(虚拟层), 下层为现实社会传播层(现实层), 个体根据各自社交网络和行为习惯接收官方信息来控制多层网络谣言传播。根据平均场方法分析该模型的演化过程和传播阈值, 采用无标度网络进行仿真验证了理论分析传播动力学行为的正确性, 结果表明, 官方信息对虚拟层和社会层谣言的控制都具有积极作用, 官方信息的掌握程度对社会谣言传播有显著性影响, 且当官方信息的网络传播达到一定规模时, 能够有效约束现实社会个体行为, 进而达到虚拟层和现实层对谣言控制的同时向促进作用。

**关键词:** 官方信息; 谣言传播; 多层网络; 复杂网络; 跨境电商

**中图分类号:** TP393

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-3695(2018)05-1294-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2018.05.003

## Rumor propagation model on multilayered interconnected complex networks based on official information driven

Yang Yunpeng, Fan Chongjun, Yang Jianzheng, Jin Yang

(Business School, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** The diffusion of the official information in the real life and the virtual network had double effect on the dissemination of rumors. This paper researched the rumor transmission problem of cross-border e-commerce new policy misinterpretation by establishing the model of rumor propagation on multifaceted interconnected complex networks, the upper layer of which was for virtual social network communication layer (virtual layer) and the lower was for the reality social communication layer (real layer). This paper analyzed the procedure of evolution and the threshold of the model according to the mean field method, and used the scale-free network simulation to verify the correctness of the theoretical analysis of dynamic behaviors. The results show that the diffusion of the official information has played a positive role in the control of the dissemination of rumor in the network and social communication, and when the official information communication has reached a certain scale, it can effectively restrain the social individual behavior, and promote the control of rumor dissemination from both the virtual layer and the real layer.

**Key words:** official information; rumor propagation; multi-layer network; complex networks; cross-border e-commerce

## 0 引言

谣言的存在由来已久, 传统意义上的谣言指的是现实社会中传播的不实信息产生的严重危害的信息传播。谣言传播与控制的系统性研究起源于20世纪, 由于谣言传播与疾病感染机理相似, 所以谣言传播研究大多基于疾病模型研究展开。Daley和Maki等人<sup>[1,2]</sup>提出谣言传播的经典模型, 随后Yamir和潘灶烽等人<sup>[3,4]</sup>对经典谣言传播模型进行了改进和发展, 研究无标度网络上可变聚类系数对谣言传播的影响; Nekovee等人<sup>[5]</sup>研究了连接概率、节点初始连边数量等对谣言爆发概率、扩散范围的影响; 王长春等人<sup>[6]</sup>提出谣言属性变量, 建立谣言

传播新模型分析谣言传播的心理学机制和敌我双方的对抗策略; 王筱莉等人<sup>[7]</sup>从信息遗忘率角度研究无标度网络中谣言传播过程。

疾病、谣言、信息等的传播、扩散与控制都可以抽象到复杂网络上进行研究。但是在现实生活中, 疾病、谣言、信息等的传播通常并不只是存在于一个简单的社会网络中, 而是处于一个有着相互作用的复杂网络当中, 真实的复杂网络往往是由多层相关的单层子网络共同组成的, 即复合网络。在多层网络中, 不同层面的节点代表着同一个个体, 但是不同层面之间的连接不同, 主要分为虚拟网络层(微信、微博等)、现实社会层(日常生活、工作等)、物理传输层(电力、水利)等。当前的疾病传播研究也主要集中在多层网络的研究。Clara等人<sup>[8]</sup>通过UAU-

**收稿日期:** 2017-01-03; **修回日期:** 2017-02-28 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(71303157, 71774111); 上海市教育委员会科研创新重点项目(14ZZ131); 国家社科基金重大项目(13&ZD178); 国家教育部人文社科基金资助项目(13YJAZH019); 上海市一流学科资助项目(S1205YLXK); 上海市自然科学基金资助项目(13ZR1458200); 上海市社科规划青年项目(2014EGL007); 沪江基金资助项目(A14006); 沪江基金研究基地专项基金资助项目(D14008)

**作者简介:** 杨云鹏(1991-), 男, 甘肃天水人, 博士研究生, 主要研究方向为智能优化算法、大数据挖掘、跨境电子商务(yunpengyang@126.com); 樊重俊(1963-), 男, 教授, 博士(后), 主要研究方向为信息系统工程; 杨坚争(1952-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为电子商务; 金阳(1992-), 男, 硕士, 主要研究方向为复杂网络、疾病传播。

SIS 多层网络模型分析了信息传递对疾病传播的影响,利用微观马尔可夫链方法对疾病的传播系统稳态进行了理论计算。同时他们<sup>[9]</sup>对信息传递中大众媒体的影响进行了深入研究,给出了更加完善的多层网络模型。Perra 等人<sup>[10]</sup>利用实际数据对个体行为的传播模型进行了实证研究,指出以往具有静态连边的模型并不符合个体之间的瞬时和动态传播过程。毕贵红等人<sup>[11]</sup>在传统无标度网络配置模型的基础上,提出了一种能应用于大规模病毒传播的 IDU 社会网络生成和演化算法。

以往研究官方信息影响的谣言传播模型大多是建立在单一层面的传播网络基础上的,比如经典的易感—感染—易感(SIS)和易感—感染—免疫(SIR)模型。而且研究谣言传播的形式也比较单一,有单纯研究社会层面的谣言传播,比如 Huo 等人<sup>[12]</sup>结合效用函数建立谣言传播(SIS)与官方行为的相互作用的模型,研究紧急事件情况下官方主动行动有效管理谣言;郭强等人<sup>[13]</sup>构建了 SIH 谣言传播模型研究真实信息发布影响谣言的传播过程;樊重俊等人<sup>[14]</sup>借鉴经典的 SIS 疾病传播模型和种群竞争模型探讨官方媒体在谣言传播过程中的影响。也有大量研究利用复杂网络研究虚拟社交网络中的用户关系、个人行为和信息传播。王辉等人<sup>[15]</sup>研究了基于移动社交网络的 CSR 的谣言传播模型;强韶华等人<sup>[16]</sup>根据多 agent 建模研究网络谣言传播,利用网民个体行为仿真揭示网络谣言舆情演变机理;Han 等人<sup>[17]</sup>研究大规模社交网络中谣言传播的扩散期、波动期、衰减期,分析谣言扩散速度和程度;王亚奇和宋之杰等人<sup>[18,19]</sup>基于微博用户行为研究谣言传播过程;万贻平等人<sup>[20]</sup>研究了谣言清除对网络谣言的影响过程。

但是在当今互联网时代下,谣言的传播既包括现实社会谣言传播也包括虚拟网络谣言传播,二者关系密不可分。当多个子网络系统耦合在一起会产生不同于单个子系统存在于一个网络中的效应,也就是说,谣言并不是不受影响、孤立的、单一层面的传播,在传播中会受到个体的行为习惯<sup>[17-19]</sup>、官方信息<sup>[12-14]</sup>或者多个因素之间相互竞争<sup>[22]</sup>等的影响。因此,研究人群个体行为、日常生活工作构成的真实社会网络和网络信息、网络关系构成的虚拟社交网络对谣言传播的影响具有重要意义。本文以跨境电商新政策错误解读信息的传播为研究背景,研究官方信息对虚拟网络层和现实社会层政策谣言传播的综合影响过程,基于多层网络建立了综合虚拟网络和现实社会的 UAU-SIS 谣言传播模型,在该多层网络模型里,新政策相关信息在真实社会和虚拟网络两个不同的复杂网络中进行传播,官方信息的网络传播会促进或抑制社会个体行为的改变,而社会个体对官方信息解读的掌握程度也会促进或抑制政策谣言的传播。

## 1 模型设计

### 1.1 模型假设

本文建立了一个多层传播网络,不同传播层面中的个体是同一个个体,但是在不同层面中个体之间的连接并不相同。比如,同一个体在虚拟网络层面关注的朋友圈和社交关系,在现实社会层中并不一定全部实际接触得到,而在现实层中的真实关系在虚拟层社交关系方面也有一定体现,如图 1 所示。

多层网络的上层为虚拟网络层(UAU),表示个人在网络社交圈所能获取到谣言的官方信息层面,比如微信、微博等宣

传媒体;在虚拟层中个体可以处于没有官方信息和有官方信息两种状态,分别用字母 U(unaware)和 A(aware)表示。处于 U 状态的个体没有得到任何关于谣言的官方信息,而处于 A 状态的个体可以通过官方信息来采取相应措施减少被感染的概率。虚拟层的传播方式为:处于 U 状态的个体通过社交媒体网络与具有官方信息 A 状态的个体进行交流,以  $\sigma$  的概率转换为 A 状态;而处于 A 状态的个体会由于记忆的原因或者并不关心这些信息,又将以  $\sigma$  的概率转换为 U 状态。

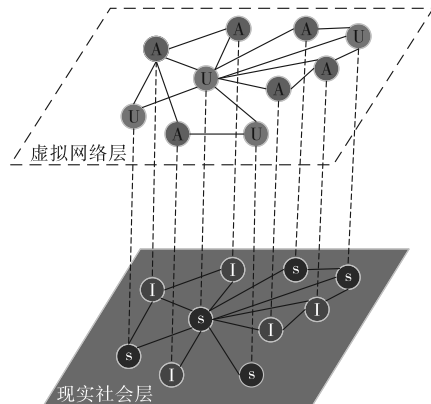


图1 多层网络结构模型图例

多层网络的下层为现实社会层(SIS),表示通过个人个体在生活中的实际行为的真实层面。利用经典的 SIS 传播模型,即个体行为可以处于易感 S 和感染 I 两种状态。现实层的传播方式为:易感 S 状态的个体通过日常生活与感染者 I 状态的个体接触,以  $\beta$  的概率被感染为 I 状态;而 I 状态的感染个体会由于官方信息等手段以  $\beta$  的概率恢复为易感 S 状态的个体。

假设被感染个体会立即得到该谣言的官方信息,即处于现实社会层感染 I 状态的个体在虚拟层面的 U 状态会以概率“1”转换为 A 状态。那么个体获取官方信息只可以通过两种途径:a)通过与具有官方信息的个体进行交流;b)个体自身被感染后痊愈。

### 1.2 模型传播

本文建立的多层网络中,谣言的传播概率为  $\beta$ ,个体对官方信息的掌握程度为  $\varphi$ (减少谣言的传播概率),信息掌握率  $\varphi$  的取值范围为  $[0,1]$ ,当  $\varphi=1$  时表示个体对信息完全掌握并且采取保护措施对谣言完全免疫,而当  $\varphi=0$  时表示个体没有掌握到官方信息或者获取到的信息有误,也就不会抑制谣言的传播。因此,未获取到官方信息个体受到感染的概率  $\beta^U = \beta$ ,而获取到官方信息个体受到感染的概率为  $\beta^A = (1-\varphi)\beta^U$ 。综合得到该多层网络的传播模型为

易感个体为

$$US + AS \xrightarrow{\lambda} AS + AS, US + AI \xrightarrow{\lambda} AS + AI$$

$$US + AI \xrightarrow{\beta^U} UI + AI \xrightarrow{1} AI + AI, AS + AI \xrightarrow{\beta^A} AI + AI$$

感染者的恢复为

$$AS \xrightarrow{\sigma} US, AI \xrightarrow{\mu} AS$$

## 2 理论分析

### 2.1 平均场近似分析

根据上述分析,任何一个处于该多层网络中的个体具有 US、AS、AI 三种状态。在不考虑多层网络中个体之间连边动态



对跨境新政策官方信息的掌握率  $\varphi = 0.5$  时,仿真输出结果如图3所示。图3表示虚拟层和现实层恢复率为  $\sigma = 0.25, \mu = 0.35$ ;  $\sigma = 0.45, \mu = 0.55$ ;  $\sigma = 0.65, \mu = 0.75$  的传播情况。其中,实线表示当官方信息的传播率  $\lambda < \lambda_c$  时,多层网络系统内部稳定,谣言以一定的扩散速度均匀传播,系统的传播阈值为  $\beta'_c = \frac{\langle l \rangle}{\langle l^2 \rangle}$ ;而当信息传播率  $\lambda > \lambda_c$  时,  $\theta_1(k, l, \infty) \neq 0$ , 多层网络系统里具有官方信息的个体逐渐增多,官方信息的扩散有效控制了网络谣言的传播,同时影响现实社会中个体行为,从而导致现实层个体行为的传播率降低为  $\beta^A = (1 - \varphi)\beta^U$ , 临界阈值会发生明显的偏移,表示未感染的个体数量逐渐增多,如图3中虚线所示。随着恢复率的提升,系统内部具有官方信息的个体增多(黑色面积增大),临界阈值偏移的程度越大。

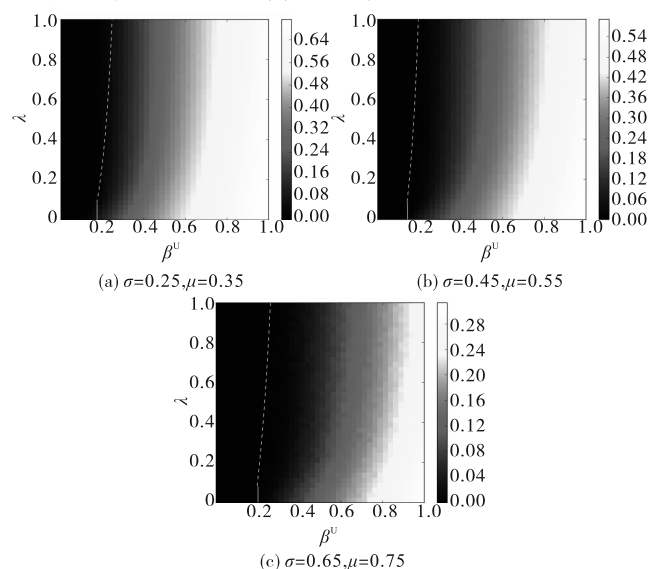


图3 传播率和恢复率对系统阈值的影响

图4为个体对信息的掌握参数  $\varphi$  不同对谣言传播的影响。图4中,虚拟层恢复率  $\sigma = 0.45$ , 现实层恢复率  $\mu = 0.55$ , 虚拟层传播率  $\lambda = 0.4$ 。图4显示,个体对官方信息掌握越好,即  $\varphi$  值越大,  $1 - \varphi$  越小,则谣言传播率  $\beta^A = (1 - \varphi)\beta^U$  降低得越多,谣言传播者 AI 就会越少。掌握官方信息较高的群体对谣言的免疫程度更强,谣言扩散的起始时间相对较晚,且谣言传播的扩散程度和感染程度相对较低;反之,对官方信息的掌握程度越低,则谣言扩散的起始时间越早、传播速度越快、谣言传播者数量上升得越高。

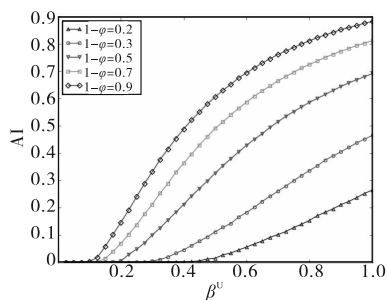


图4 官方信息掌握不同对谣言传播的影响

分别对两层网络中的控制情况进行分析,如图5(a)(b)所示。对比发现,在初始社会个体对官方信息掌握程度较低的情况下,官方信息在虚拟网络的传播较快,首先对虚拟层中的谣言传播进行控制,增强虚拟层个体的免疫程度,使得虚拟层健康个体的数量增多,从而将免疫特征反馈给现实层社会个体

(2.1节提到社会层个体获取官方信息只可以通过两种途径:通过与具有官方信息的个体进行交流和个体自身被感染后痊愈),逐渐增加现实层健康个体,但由于虚拟网络层信息繁杂,起初的官方信息增加的健康个体会有一部分继续被感染,随着时间推移逐渐治愈的个体越来越多,最终现实层和虚拟层健康个体趋同;在初始社会个体对官方信息掌握程度较高的情况下,官方信息对谣言传播的控制机理类似,不同的是,初始掌握程度状态较高,一方面大大缩短了虚拟层和社会层达到健康趋同水平的时间,另一方面对于虚拟层而言,降低了网络谣言对虚拟层健康个体感染的时间和程度,如图5(b)所示。

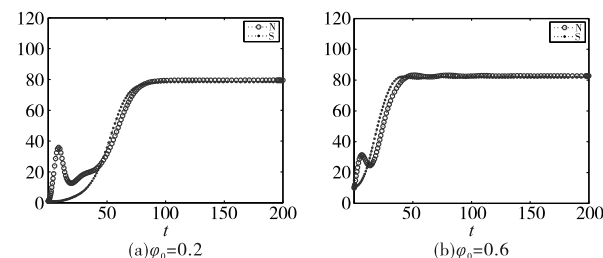


图5 不同的官方信息掌握初始状态对多层网络的影响

## 4 结束语

本文利用多层网络模型探讨了官方信息对谣言传播的影响,更加符合互联网环境下谣言传播的系统复杂性。从模型的传播阈值和计算机仿真结果可以看出,官方信息的虚拟层和社会层都对谣言的控制具有积极作用,当官方信息的虚拟层传播达到一定规模时,能够有效约束现实社会的个体行为,达到虚拟层和现实层对谣言控制的同向促进作用。因此,对于跨境电商新政策的出台不仅要考虑多种官方信息传输渠道的传播率和谣言恢复率,还要考虑受众群体对不同的官方信息掌握初始状态和官方信息掌握程度,即需要在跨境电商新政出台时做好官方信息解读的宣传程度和落实渠道,并组织各地专家和标杆企业不断加强跨境电商新政的学习与交流,保证将真实、正确、有效的相关信息在短期内推广,避免错误解读和恶性传播。然而,本文没有很好地考虑现实社会网络中具有加权、社区和层次结构等特性,也没有结合信息遗忘利用真实数据来研究多层网络谣言传播问题,这些因素将在后续的工作中进一步深入研究。

## 参考文献:

- [1] Daley D J, Kendall D G. Epidemics and rumours[J]. *Nature*, 1965, 204(4963): 1118.
- [2] Maki D, Thompson M. Mathematical models and applications: with emphasis on the social, life, and management sciences[M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1973: 23-100.
- [3] Yamir M, Maziar N, Pacheco A F. Dynamics of rumor spreading in complex networks[J]. *Physical Review E: Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2003, 69(6): 279-307.
- [4] 潘灶烽,汪小帆,李翔. 可变聚类系数无标度网络上的谣言传播仿真研究[J]. *系统仿真学报*, 2006, 18(8): 2346-2348.
- [5] Nekovee M, Moreno Y, Bianconi G, et al. Theory of rumour spreading in complex social networks[J]. *Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications*, 2008, 374(1): 457-470.
- [6] 王长春,陈超. 基于复杂网络的谣言传播模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2012, 32(1): 203-210.

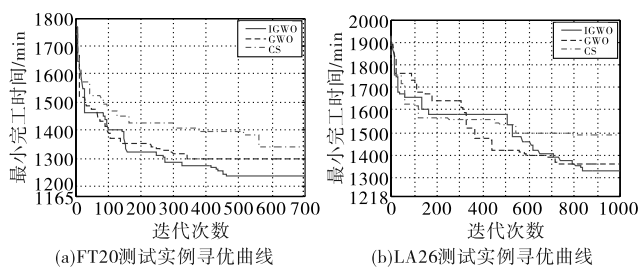


图4 IGWO、GWO和CS算法寻优曲线对照图

#### 4 结束语

灰狼优化算法是当前比较新颖的一种元启发式优化算法,目前多用于连续函数问题的优化研究,在作业车间调度这类比较复杂的离散组合优化问题方面的研究应用还比较少。

本文首先验证了标准 GWO 算法求解经典作业车间调度问题的可行性和有效性。在此基础上,针对复杂作业车间调度问题难以求解的特点,对标准 GWO 算法进行改进,通过进化种群动态、反向学习初始化种群,以及最优个体变异三个方面的改进操作,仿真结果表明改进后的混合灰狼优化算法能够有效跳出局部最优值,找到更好的解,且结果鲁棒性更强。

未来将进一步探索使用多目标灰狼优化算法解决更加复杂的生产调度问题。

#### 参考文献:

- [1] 王永明,尹红丽,秦开大. 作业车间调度理论及其优化方法研究[M]. 北京:科学出版社,2013:1-25.
- [2] Mirjalili S, Mirjalili S M, Lewis A. Grey wolf optimizer[J]. *Advances in Engineering Software*, 2014, 69(3): 46-61.
- [3] Saremi S, Mirjalili S Z, Mirjalili S M. Evolutionary population dynamics and grey wolf optimizer[J]. *Neural Computing and Applications*, 2015, 26(5): 1257-1263.
- [4] Mirjalili S, Saremi S, Mirjalili S M, et al. Multi-objective grey wolf optimizer: a novel algorithm for multi-criterion optimization[J]. *Expert Systems with Applications*, 2016, 47(4): 106-119.

(上接第1297页)

- [7] 王筱莉,赵来军,谢婉林. 无标度网络中遗忘率变化的谣言传播模型研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(2): 458-465.
- [8] Clara G, Sergio G, Alex A. Dynamical interplay between awareness and epidemic spreading in multiplex networks[J]. *Physical Review Letters*, 2013, 111(12): 128701.
- [9] Clara G, Sergio G, Alex A. Competing spreading processes on multiplex networks: awareness and epidemics[J]. *Physical Review E: Statistical Nonlinear & Soft Matter Physics*, 2014, 90(1): 012808.
- [10] Perra N, Gonçalves B, Pastorsatorras R, et al. Activity driven modeling of time varying networks[J/OL]. *Scientific Reports*, (2012) [2017-01-03]. <http://dx.doi.org/10.1038/srep00469>.
- [11] 毕贵红,何晓力,王海瑞. IDU 大规模社会网络及其 HIV 传播模拟[J]. *系统管理学报*, 2016, 25(2): 353-363.
- [12] Huo Liang'an, Huang Peiqing, Fang Xing. An interplay model for authorities' actions and rumor spreading in emergency event[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2011, 390(20): 3267-3274.
- [13] 郭强,刘新惠,胡兆龙. 真实信息发布在谣言传播中的作用研究[J]. *计算机应用研究*, 2014, 31(4): 1031-1034, 1050.
- [14] 樊重俊,李佳婷,霍良安,等. 谣言传播过程中官方媒体影响模型[J]. *计算机应用研究*, 2016, 33(11): 3364-3368.

- [5] Lu Chao, Xiao Shengqiang, Li Xinyu, et al. An effective multi-objective discrete grey wolf optimizer for a real-world scheduling problem in welding production[J]. *Advances in Engineering Software*, 2016, 99(9): 161-176.
- [6] Lu Chao, Gao Liang, Li Xinyu, et al. A hybrid multi-objective grey wolf optimizer for dynamic scheduling in a real-world welding industry[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2017, 57(1): 61-79.
- [7] 吕新桥,廖天龙. 基于灰狼优化算法的置换流水线车间调度[J]. *武汉理工大学学报*, 2015, 37(5): 111-116.
- [8] 陈昌帅. 二进制灰狼优化算法的研究与分析[J]. *信息系统工程*, 2016(7): 136-138.
- [9] 王凌. 智能优化算法及其应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2001: 10-16.
- [10] 罗亚波. 作业系统调度优化理论与方法[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2011: 1-10.
- [11] Yang Xinshe. Nature-inspired metaheuristic algorithms[M]. 2nd ed. Frome: Luniver Press, 2010: 16.
- [12] Tizhoosh H R. Opposition-based learning: a new scheme for machine intelligence[C]//Proc of International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation. [S. l.]: IEEE Press, 2005: 695-701.
- [13] Wang Yong, Cai Zixing, Zhou Yuren, et al. Constrained optimization based on hybrid evolutionary algorithm and adaptive constraint-handling technique[J]. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2009, 37(4): 395-413.
- [14] 陈乐,龙文. 求解工程结构优化问题的改进布谷鸟搜索算法[J]. *计算机应用研究*, 2014, 31(3): 679-683.
- [15] Yang Xinshe, Deb S. Cuckoo search via Lévy flights[C]//Proc of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing. New York: IEEE Publications, 2009: 210-214.
- [16] Yang Xinshe, Deb S. Engineering optimisation by cuckoo search[J]. *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 2010, 1(4): 330-343.
- [15] 王辉,韩江洪,邓林,等. 基于移动社交网络的谣言传播动力学研究[J]. *物理学报*, 2013, 62(11): 110505.
- [16] 强韶华,吴鹏. 谣言信息传播过程中网民个体行为仿真研究[J]. *情报科学*, 2015, 33(11): 124-130.
- [17] Han Shuo, Zhuang Fuzhen, He Qing, et al. Energy model for rumor propagation on social networks[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2014, 394(1): 99-109.
- [18] 王亚奇,王静,杨海滨. 基于复杂网络理论的微博用户关系网络演化模型研究[J]. *物理学报*, 2014, 63(20): 208902.
- [19] 宋之杰,王建,石蕊. 基于无标度网络的突发事件微博谣言传播研究[J]. *情报杂志*, 2015(12): 111-115.
- [20] 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): 240501.
- [21] Rizzo A, Frasca M, Porfiri M. Effect of individual behavior on epidemic spreading in activity-driven networks[J]. *Physical Review E*, 2014, 90(4): 246-266.
- [22] Granell C, Gómez S, Arenas A. Competing spreading processes on multiplex networks: awareness and epidemics[J]. *Physical Review E*, 2014, 90(1): 012808.
- [23] Barabási A L, Albert R, Jeong H. Mean-field theory for scale free random networks[J]. *Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications*, 1999, 272(1): 173-187.
- [24] Sanz J, Meloni S, Moreno Y, et al. Dynamics of interacting diseases[J]. *Physical Review X*, 2014, 4(4): 041005.