

社会网络中考虑群体免疫力的谣言传播模型研究

王筱莉¹, 夏志杰¹, 栾东庆¹, 杨湘浩¹, 王 芹², 阎瑞霞¹

(1. 上海工程技术大学 管理学院, 上海 201620; 2. 上海海事大学 交通运输学院, 上海 201306)

摘要: 近年来很多谣言给国家和社会带来了巨大的经济损失. 为了更好地减少谣言对公众和社会的危害, 并给出有效应对谣言传播的策略和建议, 通过考虑谣言传播中无知者免疫程度差异性对谣言传播过程的影响, 建立了社会网络中考虑群体免疫力的谣言传播模型, 并给出了均匀网络中的平均场方程和相应的稳定性分析. 根据平均场方程利用 Runge-Kutta 方法对谣言传播过程进行了数值仿真. 仿真结果表明: 社会网络中免疫增强率在谣言传播中起到重要的作用, 免疫增强率越大, 谣言的影响力越小, 即提高免疫力强的无知者的人群比例, 可降低网络中谣言传播的最大影响力.

关键词: 谣言传播; 群体免疫力; 均匀网络; 稳定状态

中图分类号: N 945

文献标志码: A

Rumor Spreading Model Considering the Herd Immunity in Social Network

WANG Xiaoli¹, XIA Zhijie¹, LUAN Dongqing¹, YANG Xianghao¹, WANG Qin², YAN Ruixia¹

(1. School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. College of Transport & Communications, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In recent years, many rumors have brought huge economic losses to the country and society. In order to reduce the harm influence of rumors on the public and society, and give effective strategies and suggestions to cope with the rumors propagation, based on the study on the influence of herd immunity differences on the rumor propagation process, a rumor propagation model considering the herd immunity in social network was established. The corresponding mean-field equations in homogeneous network were given and their stability was analyzed. According to the mean-field equations by using the method of Runge-Kutta, the rumor propagation process was numerically simulated. The simulation results show that the immune enhancement rate plays an important role in rumors spreading. The greater the immune enhancement rate, the smaller the influence of rumor, that is, raising the proportion of people with strong immunity, the maximum influence of rumor propagation in the network could be reduced.

收稿日期: 2017-06-28

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(71503163); 国家社会科学一般项目(14BTQ026); 上海市哲学社会科学规划项目(2015EGL007); 上海高校青年教师培养资助计划(ZZGCD15093); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(13YJCZH122); 上海市浦江人才计划(14PJC060); 教育部人文社会科学研究一般项目(17YJA630120)

第一作者: 王筱莉(1981-), 女, 讲师. 研究方向: 应急管理与信息传播. E-mail: wxl-0539@163.com

Keywords: rumor spreading; herd immunity; homogeneous network; steady state

近年来很多谣言对人类的日常生活造成了重大影响,更甚者给国家和社会带来了巨大经济损失.如何更好地应对谣言传播成为了政府有关部门极为关心的问题.尤其随着信息技术的发展和新媒体的涌现,网络中不同群体的自由发声,使得谣言的影响日益增强.因此,有必要考虑谣言传播中无知者免疫程度差异性对谣言传播过程的影响,基于此给出有效应对谣言传播的策略和建议,进而更好地减少谣言对公众和社会的危害.

1 文献综述及问题提出

谣言传播是“思想意识”的传播,传播过程类似于疾病传播过程.在谣言传播中人群一般可分为造谣者(谣言传播者)、无知者(未接触谣言者)和移出者(知道谣言但不传播谣言者).谣言传播过程遵循一定的规则:无知者遇到造谣者以一定概率转变为造谣者;造谣者遇到造谣者或移出者以一定概率转变为移出者;当整个网络中没有造谣者时,谣言传播终止.

经典谣言传播模型是 DK 模型^[1]和 MK 模型^[2],基于此衍生出很多谣言传播模型.但随着谣言传播的深入研究,很多学者^[3-7]认为经典谣言传播模型没有考虑网络的拓扑结构(如网络平均度等)主要适用口口相传网络,而由于大规模社会关系网络(如微信、微博等)中的谣言传播规律与拓扑结构有着紧密联系,经典谣言传播模型不适合描述. Zanette^[7]首先利用复杂网络系统,研究了小世界网络中谣言传播动态过程. Moreno 等^[8-9]分别在均匀网络和非均匀网络中研究了谣言传播动态过程,并给出了不同网络中的平均场方程. Zhao 等^[10-11]分别在 BA 无标度网络和 BBV 加权网络中研究了谣言传播的动态特征,并给出了对应的平均场方程.

随着谣言传播研究的不断深入,学者们发现人们的记忆、遗忘以及怀疑等心理特征对谣言传播都产生很大的影响^[12-15]. Kawachi^[12]研究了记忆机制对谣言传播过程的影响. Zhao 等^[13-15]研究表明遗忘率在谣言传播过程中起到重要的作用. 洪巍等^[16]研究真实信息传播者对谣言传播过程的影响,基于此建立了 SIRT 谣言传播模型. 王筱莉等^[17]研究了无标度网络中遗忘率变化的谣言传播模型. 张志花

等^[18]建立了基于唤醒机制的微博谣言传播模型. 王筱莉等^[19]研究了怀疑机制对谣言传播过程的影响,并建立了社会网络中具有怀疑机制的谣言传播模型.

虽然这些文章都对谣言传播研究作出了重大贡献^[1-19],但是这些模型很少将社会中群体免疫力差异考虑到谣言传播模型中. 在网络中无知者听到谣言以后,由于所处的环境、所受教育程度以及生活经验等不同因素的影响(即具有不同免疫力),受传谣者的影响就会不同,那么无知者转变为传谣者的比率也会不同^[20]. 同时,无知者由于受到周围环境或受教育程度改变等因素影响,无知者免疫力强度会不断改变,那么受谣言传播影响程度也会改变. 所以不同免疫力强度在谣言传播过程中会起到不同的作用.

本文基于以上的实际情况,在谣言传播模型分类的基础上将人群中的无知者根据群体的免疫力差异分为两类:免疫力弱的无知者(I_1),此类无知者易受谣言传播者的影响;免疫力强的无知者(I_2),此类无知者不易受谣言传播者的影响. 免疫力弱的无知者(I_1)会受到外界环境的影响,以及教育文化程度的影响转换为免疫力强的无知者. 基于此建立了考虑群体免疫力的谣言传播模型,给出了均匀网络中的平均场方程,并研究了方程的稳定性,最后对模型进行了数值模拟和结果分析.

2 考虑群体免疫力的谣言传播模型

2.1 平均场方程的提出

假设存在一个有 N 个人的混合均匀的社会网络. 社会中的个人可利用网络中的顶点表示,两个人之间的连边可利用网络中的边表示,这样就可以得到一个无向图 $G = (V, E)$, V 代表所有顶点的集合, E 代表所有边的集合. 根据 Maki 等^[3]的研究,假设谣言传播是通过其他人与谣言传播者接触来传播的.

考虑群体免疫力的谣言传播模型中谣言传播的过程如图 1 所示,网络中的人群被分为 4 类:免疫力弱的无知者(I_1)、免疫力强的无知者(I_2)、谣言传播者(S)和移出者即知道谣言而不传播谣言者(R). 考虑人群免疫力的谣言传播过程遵守的规则:a. 当

一个免疫力弱的无知者遇到谣言传播者,免疫力弱的无知者因对谣言不感兴趣等原因以 β_1 的比率转变为移出者;b. 当一个免疫力弱的无知者遇到谣言传播者,免疫力弱的无知者以 λ_1 的比率转变为谣言传播者;c. 免疫力弱的无知者由于受到外界的相关信息或受教育环境的影响,免疫力弱的无知者以 η 的比率转变为免疫力强的无知者, η 称为免疫增强率.d. 当一个免疫力弱的无知者遇到谣言传播者,免疫力弱的无知者因对谣言不感兴趣等原因以 β_2 的比率转变为移出者;e. 当一个免疫力弱的无知者遇到谣言传播者,免疫力弱的无知者以 λ_2 的比率转变为谣言传播者;f. 当一个谣言传播者遇到谣言传播者或移出者,第一个谣言传播者以 θ 的比率转变为移出者;g. 谣言传播者由于自身的原因(例如遗忘)以 δ 的比率转变为移出者.

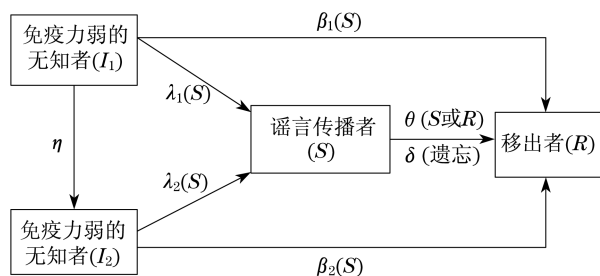


图1 考虑人群免疫力的谣言传播过程结构

Fig.1 Structure of rumor sprading process considering the herd immunity

均匀网络中考虑群体免疫力差异的谣言传播模型的平均场方程为

$$\frac{dI_1(t)}{dt} = -\bar{k}\lambda_1 I_1(t)S(t) - \bar{k}\beta_1 I_1(t)S(t) - \eta I_1(t) \quad (1)$$

$$\frac{dI_2(t)}{dt} = -\bar{k}\lambda_2 I_2(t)S(t) - \bar{k}\beta_2 I_2(t)S(t) + \eta I_1(t) \quad (2)$$

$$\frac{dS(t)}{dt} = \bar{k}\lambda_1 I_1(t)S(t) + \bar{k}\lambda_2 I_2(t)S(t) - \bar{k}\theta S(t)(S(t) + R(t)) - \delta S(t) \quad (3)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \bar{k}\beta_1 I_1(t)S(t) + \bar{k}\beta_2 I_2(t)S(t) + \bar{k}\theta S(t)(S(t) + R(t)) + \delta S(t) \quad (4)$$

式中: $I_1(t)$ 代表免疫力弱的无知者密度; $I_2(t)$ 代表免疫力强的无知者密度; $S(t)$ 代表传播者密度; $R(t)$ 代表移出者密度, 并且他们之间满足: $I_1(t) + I_2(t) + S(t) + R(t) = 1$; $\bar{k}$ 为网络中的平均度.

假设在谣言的开始状态只有一个传播者, 其他都是免疫力弱的无知者, 则谣言传播的初始条件为

$$I_1(0) = \frac{N-1}{N}, I_2(0) = 0, S_1(0) = \frac{1}{N}, R(0) = 0$$

2.2 稳定状态分析

令 $\frac{dI_1(t)}{dt} = 0, \frac{dI_2(t)}{dt} = 0, \frac{dS(t)}{dt} = 0, \frac{dR(t)}{dt} = 0$, 求解出方程组的解为 $(0, 0, 0, 1)$, 则式(1)~(4)的平衡点为 $(0, 0, 0, 1)$.

以下判断式(1)~(4)平衡点的稳定性. 式(1)~(4)线性近似方程组的特征方程为

$$\begin{vmatrix} \lambda + \eta & 0 & 0 & 0 \\ -\eta & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda + \theta\bar{k} + \delta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda \end{vmatrix} = 0$$

即

$$\begin{aligned} (\lambda + \eta)\lambda(\lambda + \theta\bar{k} + \delta)\lambda &= 0 \\ \lambda_1 &= -\eta, \lambda_2 = 0 \\ \lambda_3 &= -\theta\bar{k} - \delta, \lambda_4 = 0 \end{aligned}$$

从以上可以看出特征方程中有一个零根, 它对应于一个常数项, 系统可在任何状态下平衡, 称为随遇平衡状态.

3 数值实验结果

利用 Runge-Kuntt 方法求解式(1)~(4)微分方程组, 并分析免疫增强率对谣言传播的影响. 这里假设一个 $N = 10^6$, 平均度 $\bar{k} = 10$ 的混合均匀网络. 同时假设网络初始状态只有一个传播者, 其他都是免疫力弱的无知者, 即 $I_1(0) = \frac{10^6 - 1}{10^6}, I_2(0) = 0,$

$$S_1(0) = \frac{1}{10^6}, R(0) = 0.$$

图2(见下页)展示了当 $\lambda_1 = 0.4, \lambda_2 = 0.1, \beta_1 = 0.1, \beta_2 = 0.3, \alpha = 0.2, \delta = 0.2, \eta = 0.1$ 时, 考虑群体免疫力的谣言传播模型中4类人群密度随时间的变化趋势. 从图2可知随着谣言的传播, 谣言传播者密度有个瞬间增加点, 随后逐渐增加, 达到一个峰值后开始下降, 最后谣言传播者的密度达到零, 即网络中无谣言传播者, 谣言终止. 同时随着网络谣言的传播, 免疫力强的无知者密度逐渐增加, 达到一个峰值后开始下降, 最后密度达到一个稳定值. 这是因为免疫力弱的无知者由于受到外界相关信息或受教

育内容变化的影响,免疫力弱的无知者以一定比率转变为免疫力强的无知者,即随着谣言的传播,网络中免疫力强的无知者密度逐渐增加,达到一个峰值后开始下降,最后密度达到一个稳定值,即谣言传播终止时,免疫力强的无知者密度不再变化.从图2还可知,在谣言传播过程中,免疫力弱的无知者逐渐减少而移出者逐渐增加,免疫力弱的无知者密度最后达到0,移出者密度达到一个稳定值.

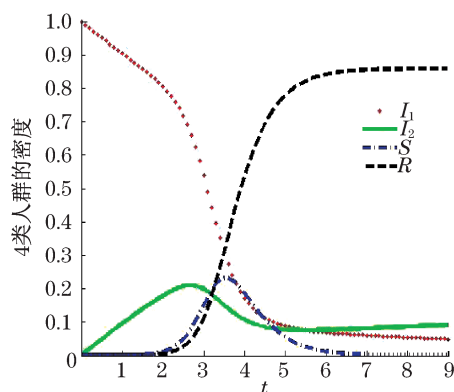


图2 4类人群密度变化

Fig.2 Four kinds of population density changing

在 $\lambda_1 = 0.4, \lambda_2 = 0.1, \beta_1 = 0.1, \beta_2 = 0.3, \alpha = 0.2, \delta = 0.2$ 和不同免疫增强率 η 下,均匀网络中谣言传播者密度变化情况如图3所示.假设谣言传播者密度的最大值代表谣言传播最终影响力,即谣言传播者密度越大说明谣言影响力越大.图3中红色点线代表免疫增强率 η 为0,即网络中不考虑群体免疫力差异时谣言传播者密度变化情况,此时网络中谣言传播者的最大密度明显大于网络中考虑群体免疫力差异时谣言传播者的最大密度.从图3可知,免疫增强率 η (相当于增加免疫力强的无知者密度) 影响着谣言传播的全过程,同时可知相同条件下,免疫增强率 η 越高(即谣言传播中免疫力强的无知者密度增大),谣言传播者最大密度越小,即谣言传播的最终影响力越小.从图3还得出相同条件下,免疫增强率 η 越大,谣言传播者密度达到峰值的时间越晚.

图4展示在不同免疫增强率 η 下,免疫力强的无知者密度变化情况.在图4中,红色点线代表的是在免疫增强率 η 为0,即网络中不考虑群体免疫力差异时,免疫力强的无知者密度随时间变化的趋势,此时免疫力强的无知者密度为0.从图4的数值易得:免疫力强的无知者密度最大值随着免疫增强率 η 的增大而增大,同时达到稳定状态时免疫力强的

无知者密度随着免疫增强率 η 的增大而增大.

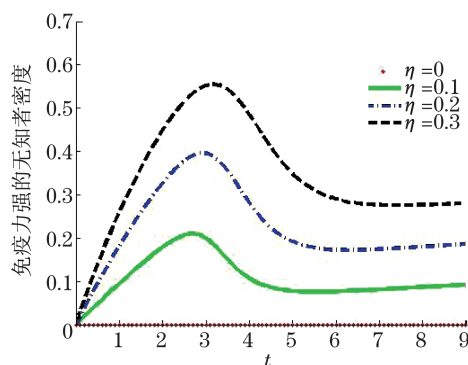


图3 免疫力强的无知者密度随时间的变化

Fig.3 Variation of the density of ignorant (I_2) with time

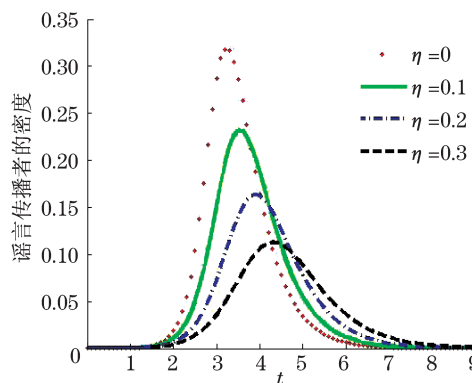


图4 谣言传播者密度随时间的变化

Fig.4 Variation of the density of rumor spreaders with time

对比图3和图4可知,免疫增强率 η 越大,谣言传播者密度越小,而免疫力强的无知者的最大密度越大,即免疫增强率越大谣言的影响力越小.从图3和图4得到增加网络中免疫增强率(即相当于增加网络中免疫力强的无知者密度),可以有效地减小谣言传播者的最终影响力,并有效减缓谣言传播者达到峰值的时间.所以在社会网络中可以通过不同途径(如通过改变群体所处环境、所受教育程度以及生活经验等)增加免疫增强率 η ,即提高免疫力强的无知者密度,从而降低谣言传播的最大影响力.

4 结 论

a. 通过考虑谣言传播中无知者免疫程度差异,把无知者分为了免疫力弱的无知者和免疫力强的无知者,建立了考虑群体免疫力的谣言传播模型,并给出了均匀网络中此模型的平均场方程,同时给出稳定性分析.

b. 用 Runge-Kutta 方法对考虑群体免疫力的谣言传播模型进行了数值模拟. 模拟结果表明, 社会网络中免疫增强率在谣言传播中起到重要的作用. 免疫增强率越大谣言传播中免疫力强的无知者越多, 谣言的影响力越小.

c. 数值实验结果表明, 提高网络中免疫增强率即提高免疫力强的无知者的人群比例, 可降低网络中谣言传播的最大影响力. 这为政府相关部门有效预防和应对谣言传播提供了一定的理论支持. 如: 政府有关部门可以增大对民众普识教育的投入力度, 即提高免疫力强的无知者的人群比例来降低谣言传播的最大影响力, 确保社会环境的和谐安定.

本文研究了均匀网络中考虑群体免疫力的谣言传播模型, 在非均匀网络中考虑人群免疫力的谣言传播模型将是进一步的研究方向.

参考文献:

- [1] KNAPP R H. A psychology of rumor [J]. Public Opinion Quarterly, 1944, 8(1): 22 - 37.
- [2] DALEY D J, KENDALL D G. Stochastic rumours [J]. IMA Journal of Applied Mathematics, 1965, 1(1): 42 - 55.
- [3] MAKI D P, THOMPSON M. Mathematical models and applications, with emphasis on the social, life, and management sciences [M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1973.
- [4] EBEL H, MIELSCH L, BORNHOLDT S. Scale-free topology of e-mail networks [J]. Physical Review E, 2002, 66(3): 035103.
- [5] WANG F, MORENO Y, SUN Y R. Structure of peer-to-peer social networks [J]. Physical Review E, 2006, 73(3): 036123.
- [6] CSÁNYI G, SZENDRŐI B. Structure of a large social networks [J]. Physical Review E, 2004, 69(3): 036131.
- [7] ZANETTE D H. Critical behavior of propagation on small-world networks [J]. Physical Review E, 2001, 64(5): 050901.
- [8] MORENO Y, NEKOVEE M, PACHECO A F. Dynamics of rumor spreading in complex networks [J]. Physical Review E, 2004, 69(6): 066130.
- [9] MORENO Y, NEKOVEE M, VESPIGNANI A. Efficiency and reliability of epidemic data dissemination in complex networks [J]. Physical Review E, 2004, 69(5): 055101.
- [10] ZHAO L J, QIU X Y, WANG X L, et al. Rumor spreading model considering forgetting and remembering mechanisms in inhomogeneous networks [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2013, 392(4): 987 - 994.
- [11] ZHAO L J, WANG X L, QIU X Y, et al. A model for the spread of rumors in barrat-barthelemy-vespignani (BBV) networks [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2013, 392(21): 5542 - 5551.
- [12] KAWACHI K. Deterministic models for rumor transmission [J]. Nonlinear Analysis: Real World Applications, 2008, 9(5): 1989 - 2028.
- [13] ZHAO L J, WANG Q, CHENG J J, et al. Rumor spreading model with consideration of forgetting mechanism: a case of online blogging LiveJournal [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2011, 390(13): 2619 - 2625.
- [14] ZHAO L J, WANG J J, CHEN Y C, et al. SIHR rumor spreading model in social networks [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2012, 391(7): 2444 - 2453.
- [15] ZHAO L J, WANG X L, WANG J J, et al. Rumor-propagation model with consideration of refutation mechanism in homogeneous social networks [J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2014, 2014: 659273.
- [16] 洪巍, 王虎. 基于 SIRT 的网络谣言传播演化模型的研究 [J]. 现代情报, 2017, 37(6): 36 - 42.
- [17] 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.
- [18] 张志花, 夏志杰, 葛涛, 等. 基于唤醒机制的微博谣言传播模型 [J]. 现代情报, 2015, 35(3): 28 - 33.
- [19] 王筱莉, 赵来军. 社会网络中具有怀疑机制的谣言传播模型 [J]. 上海理工大学学报, 2012, 34(5): 424 - 428.
- [20] DALEY D J, GANI J. Epidemic modelling: an introduction [M]. Cambridge: Cambridge studies in Mathematical Biology, Cambridge University Press, 1999.

(编辑: 丁红艺)