计算机科学
COMPUTER SCIENCE

基于 SEIR 的微信公众号信息传播建模与分析

畅雅雯, 杨波, 高玥琳, 黄靖云

引用本文

畅雅雯, 杨波, 高玥琳, 黄靖云. 基于 SEIR 的微信公众号信息传播建模与分析[J]. 计算机科学, 2022, 49(4): 56-66.

CHANG Ya-wen, YANG Bo, GAO Yue-lin, HUANG Jing-yun. Modeling and Analysis of WeChat Official Account Information Dissemination Based on SEIR[J]. Computer Science, 2022, 49(4): 56-66.

相似文章推荐（请使用火狐或 IE 浏览器查看文章）

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

成本受限条件下的社交网络影响最大化方法

Budget-aware Influence Maximization in Social Networks

计算机科学, 2022, 49(4): 100-109. https://doi.org/10.11896/jsjkx.210300228

基于好友亲密度的用户匹配

Friend Closeness Based User Matching

计算机科学, 2022, 49(3): 113-120. https://doi.org/10.11896/jsjkx.210200137

基于信息传播的致病基因识别研究

Disease Genes Recognition Based on Information Propagation

计算机科学, 2022, 49(1): 264-270. https://doi.org/10.11896/jsjkx.201100129

社交网络中的虚假信息:定义、检测及控制

False Information in Social Networks:Definition,Detection and Control

计算机科学, 2021, 48(8): 263-277. https://doi.org/10.11896/jsjkx.210300053

社交网络中基于注意力机制的网络舆情事件演化趋势预测

Prediction of Evolution Trend of Online Public Opinion Events Based on Attention Mechanism in Social Networks

计算机科学, 2021, 48(7): 118-123. https://doi.org/10.11896/jsjkx.200600155

计算机科学 COMPUTER SCIENCE
http://www.jsjkx.com
DOI:10.11896/jsjkx.210900169

基于 SEIR 的微信公众号信息传播建模与分析

畅雅雯　杨　波　高玥琳　黄靖云
中国人民大学信息学院　北京 100872
(18810516322@163.com)

摘　要　移动互联网时代,社交关系链的线上化已成为不可逆转的趋势。微信公众号的出现,在提升信息获取便捷性的同时也增加了系统信息治理的难度。因此,公众号信息在微信社交网络上的传播过程与遏制谣言在社交网络上的扩散的研究成为了微信运营者及社会监管部门关注的重点。本研究基于 SEIR 传染病模型,利用北京速途公司提供的真实运营数据,计算模拟 S 态、E 态、I 态和 R 态 4 类用户的相互转化概率,并还原公众号信息在微信上传播的全链路过程。此外,本研究还量化分析了公众号粉丝数量、粉丝影响力、潜在用户转化成携带用户的感染概率 P_1、携带用户转化成传播用户的传播概率 P_2 对信息传播过程的影响,验证了意见领袖强行免疫策略在抑制信息传播方面的有效性。

关键词:SEIR 模型;微信公众号;社交网络;信息传播
中图法分类号 G206

Modeling and Analysis of WeChat Official Account Information Dissemination Based on SEIR

CHANG Ya-wen, YANG Bo, GAO Yue-lin and HUANG Jing-yun
School of Information, Renmin University of China, Beijing 100872, China

Abstract　In the era of mobile Internet, it has become an irreversible trend that the social relationship chain goes online. The appearance of WeChat official account not only improves the convenience of information acquisition, but also increases the difficulty of system information governance. The research about the dissemination process of official account information on the WeChat social network and curbing the spread of rumors on social networks become the focus of WeChat operators and social regulator authorities. Based on the SEIR infectious disease model, this paper uses the real operating data provided by Beijing Sootoo Company to calculate and simulate the mutual conversion probability of the S-state, E-state, I-state and R-state users, and restores the whole link process of official account information dissemination on WeChat social network. In addition, this paper also quantitatively analyzes the influence of the number of official account fans, the influence of fans, the infection probability P_1 of susceptible users into exposed users, and the dissemination probability P_2 of exposed users into infected users on the process of information dissemination, which proves the effectiveness of the key opinion leader's forced immunization strategy in suppressing information dissemination.

Keywords　SEIR model, WeChat official account, Social network, Information dissemination

1　引言

当今社会是一个由各种关系链构成的复杂动态整体,在线社交媒体的迅猛发展使得关系链建立和发展的成本大大降低,这势必会提升整个社交关系网络的复杂度。相比传统媒体的自白式单向传播关系,在线社交媒体以对话式的互动传播关系为主[1],对于社交关系网络中的大多数节点(人),不再单纯地作为被动接收的一方,而是能参与到信息的生产、加工和传播中去。

2021 年第一季度财报显示,微信及 WeChat 的合并月活跃账户数为 12.41 亿,第一季度的公众号发文量相比去年同期增长了 0.45%,公众号数量则大幅增长 7.81%[2]。公众号的上线和蓬勃发展,愈加凸显了微信的媒介属性。随着微信公众号的影响力越来越大,对微信谣言的治理开始受到许多学者的关注。如何在保证公众号信息传播便捷性的同时有效地降低谣言传播失控的风险,成为当今社会的重要研究命题之一。

目前,针对微信公众号信息传播的研究多为结果导向,即通过公众号的运营数据,从定性的角度来判断特定因素是否有利于信息在微信社交网络上的传播,但对于影响因素的具体影响效果缺少定量的描述。本文以微信公众号的传播过程作为研究对象,借助 SEIR 模型,将处于社交网络中的用户分为 4 类:易感者(S 态)、携带者(E 态)、传播者(I 态)和免疫者(R 态)。研究这 4 类用户在信息传播过程中的动态转化

到稿日期:2021-09-22　返修日期:2021-10-20
通信作者:杨波(yangbo_ruc@126.com)

状况。本研究采用北京速途网络公司提供的微信公众号实际运营数据，筛选出其中的爆款文章数据作为研究对象。本文拟用公众号爆款文章的阅读率、分享率分别模拟易感者到携带者的转化率，以及携带者到传播者的转化率。按照微信公众号的传播特点，本文拟构建双层拓扑网络模拟社交网络。第一层网络为以小世界原理构建的微信社交网络，主要模拟公众号信息在粉丝及其好友间的二次传播状况；第二层网络是在第一层网络上随机选取若干节点，与公众号节点连接，用于模拟微信公众平台向其粉丝传播信息的过程。在该社交网络上，研究不同时间下，整个系统中 4 类用户（易感者、携带者、传播者和免疫者）的密度变化，以及当最终达到平衡态时，受到感染的用户占比。同时，在实验过程中对影响传播的因素进行研究，寻找抑制信息传播的方法。

2 文献综述

2.1 微信传播

对于信息在微信上的传播，学者的研究主要集中于以下 5 个方面：传播机制、特征、效果、策略和动力学。经过统计发现，传播动力学方向的文献资料远少于其他方向的研究，这说明当前对于信息在微信社交网络上的动态传播过程的研究还不充分，亟待扩充完善。

在传播机制上，一些学者进行了定义研究。Fang 等从微信的传播方式，传播能力、渠道、范围，传播特点和微信受众的网络社交 4 个方面，结合实际案例对微信传播机制进行分析[3]。Wang 对微博和微信的传播机制进行对比分析，提出微信的传播机制是强交往、弱传播模式[4]。Li 等通过对微信传播信任机制的研究发现，意见领袖、预设信任、强关系和利他主义等因素能为微信传播信任机制带来积极作用[5]。Song 等指出，微信朋友圈中的谣言传播机制是强关系连接下构建的由“点”及“面”的传播路径[6]。

在传播特征上，有学者进行了总结。Li 等追踪 18 个典型阅读类微信公众号的推送内容并进行量化分析，探讨了微信公众号的内容传播特征与问题[7]。Cai 认为，微信公众号的传播特征主要反映在题材聚焦于网民关注的内容、手法体现出灵活性与多样性、形态契合移动终端阅读习惯等方面[8]。

在传播效果上，学者对不同方面的影响进行了研究。Nie 等对档案馆的官方微信进行了实证研究，提出原创内容和相对固定的推送频率有利于信息传播，而公众号平台主体不同对传播没有明显作用[9]。Liu 等研究了新闻评论类公众号标题基于语法分析和基于研究对象特征的属性与其文章阅读量和点赞量（传播效果）的关系[10]。

在微信传播策略方面，多是针对某一类具体公众号所做的实证研究。Jiang 等认为，科技媒体类微信公众号应在坚持专业的内容定位的前提下，加大关键词热点力度，推进视频等多媒体素材的运用[11]。Zeng 等从内容、呈现形式、互动和数据分析等角度针对医学类学术期刊微信公众号提出传播策略建议[12]。

在传播动力方面，学者结合社交网络进行了研究。Diao 等基于复杂网络下的扩散动力学，构建了一种两阶段模型，用于研究新产品在微信社交网络中的传播过程[13]。Zhu 等在耦合网络视角下建立了微信群与线下双向反馈的知识传播模型，并且认为微信群对知识传播具有促进/抑制作用[14]。

2.2 传染病模型在社交网络中的应用

由于流行病在自然界中的扩散与信息在社交网络（Social Network Services，SNS）中的传播具有相似性，因此，国内外大量学者将传染病模型应用于信息在 SNS 上的传播过程。在 SI，SIS，SIR，SIRS 和 SEIR 等模型的基础上，学者进行了很多改进研究。

Xu 等将信息发布前所需的审核时间纳入考量范围，构建了 S-SIR 模型，但由于该审核造成的时间延迟发生在信息传播之前，故对传播过程无影响[15]。Wang 等提出了 SIRaRu 模型并证明了其在齐次网络和非齐次网络中都存在扩散阈值，并且网络拓扑结构对谣言传播有显著影响[16]。Cannarella 等在 SIR 模型的基础上，通过添加一个感染机制的恢复过程，模拟用户视图的采纳和放弃，提出了 IR-SIR 模型，并在 Facebook 和谷歌上验证了该过程[17]。为了分析谣言传播的稳态，Wan 等提出了 SIERsEs 谣言传播模型[18]。Pu 等基于 SIR 模型，研究了信息流通量对信息传播的作用，并且发现在负载均匀的条件下，信息在 SNS 上传播的效率最高[19]。Li 等考虑了政府和个人的敏感性惩罚，采用平均场方法比较了 SIS 和 SIR 模型的扩散阈值[20]。在另一项研究中，Ma 等探讨了双相社会强化对在线社交网络谣言传播动态的积极和消极影响[21]。Kazunori 等在一个名为 Friendster 的 SNS 上应用 IR-SIR 模型进行了模拟，得出其衰落将从中心开始的结论，而这与事实是相符的[22]。Nian 等提出一种基于 Barabasi-Albert（BA）无标度网络模型和 SIRS 模型的动态网络模型，其中提出了一种使最活跃节点最先免疫的新免疫方案[23]。Zhu 等分析了 SEIR 谣言传播模型的局部稳定性、全局稳定性和最优控制[24]。Mathur 等利用 SEIZ 模型模拟虚假信息在人群中的传播，并使用 Twitter 数据证明了对早期的不真实信息的使用能够带来更高的准确率[25]。

相较国外而言，虽然国内学者对 SNS 上信息传播过程的研究较少且起步较晚，但是，基于微博的开放性网络，国内学者应用传染病模型进行了模拟与改进，取得了不少优秀的学术成果。

Zhang 等从用户交互关系和转发行为的影响因素出发，构建了 SCIR 模型，并通过仿真实验证明了 SCIR 模型的有效性（相比 SIR 模型，其稳定性和信息覆盖性更强）[26]。He 提出基于多 Agent 的微博社交网络信息传播模型，发现信息在微博社交网络上的传播属于裂变式营销，信息价值、个体影响力等对信息的传播有重要影响[27]。Gao 将社交网络中的节点分为高影响力节点和低影响力节点，通过构建 BA 无标度网络模拟微博社交网络，提出 SSIR 传播模型[28]。

之前，国内学者主要将传染病模型应用于微博信息传播研究中，但随着时间的推移，微信因为其不同于微博的特性逐渐进入不少研究者的视野。

Deng 等在 SEIR 模型的基础上引入退出节点 O，构建了 SEIRO 模型用于模拟信息在微信网络中的扩散，发现谣言在真实微信网络中最多可感染约 70% 的用户[29]。Ma 等引入

潜伏节点(IR 态)对 SIR 模型进行改进,模拟了微信公众平台将信息推送给第一个用户之后的信息传播状况[30]。目前,有关微博和微信的信息传播过程模拟实验均依据 B-A 无标度网络,构建相应的网络关系。然而,微博和微信社交网络存在较大区别。微信是基于熟人好友的一种强关系网络,信息是双向传播的,而微博是基于粉丝关注的弱关系网络,存在单向和双向两种信息传播方式。此外,微信的好友人数限制也会导致其意见领袖在传播中的作用远小于微博。因此,在仿真模拟中,微博社交网络更适合 BA 无标度网络,而微信社交网络更符合小世界特性。

微信公众平台向粉丝发推送的过程与微博相似,而粉丝对推送的分享传播则更符合微信社交网络的特点。在已有的研究中,针对公众号在微信网络中传播过程的研究较少,存在的不足之处主要有以下几点:

(1)在微信公众号的相关研究中,学者采用案例研究与问卷调查等定性研究的方法较多,使用定量模型研究的方法较少且数据规模较小。

(2)目前研究微信公众号信息传播动力的文献较少。对传播动力的研究能够在舆论控制等方面发挥重要作用,而微信公众号作为发送者存在,在信息传播中具有关键作用。

(3)类比传染病传播采用 SEIR 模型进行微信公众号研究的文献较少。已有研究多将此类模型用于微博、Facebook 等开放空间的信息传播中,但用于微信的较少。

针对已有研究存在的不足,本文将处于微信社交网络中的用户分为 4 种状态,同时引入公众号节点,建立双层拓扑网络,更好地模拟出公众号在微信生态中传播的社交网络结构。通过仿真实验,研究传播过程及影响过程的变量因素,对微信公众号信息传播的相关理论和模型进行补充。

3 数据说明与模型构建

3.1 数据收集

本研究收集了北京速途网络公司旗下 30 个公众号的运营数据,涉及娱乐、财经、健康等多个品类,选取的公众号名称和截至 2019 年 10 月 1 日的关注用户量如表 1 所列。

表 1 微信公众号数据

Table 1 Data of WeChat official accounts

Number	Name of official account	Number of people concerned about
1	PR 媒体	106 429
2	一句	954 746
3	人力资源管理	1 104 792
4	健康时尚百科	629 806
5	创业咖	381 239
6	创意社	1 296 653
7	动漫基地	206 295
8	医美观察	104 518
9	天气预报	444 251
10	头条资讯	197 086
11	娱乐大爆炸	522 287
12	微小说	457 845
13	心理研究社	952 367
14	思想新知	403 344
15	掌上书房	198 286
16	星座爱情运势	399 374
17	最美旅行	155 421
18	朋友圈精选	312 321
19	每天一首英文歌	279 589
20	每日瑜伽	782 732
21	汽车爱好者	214 039
22	爱时尚	220 908
23	猫来了	683 706
24	电影天堂	1 296 800
25	电影院线	158 107
26	财经文摘	119 269
27	金融内参	223 738
28	销售与市场	318 248
29	销售兵法	1 119 659
30	音乐台	141 482

本文研究采集了以上 30 个公众号 2019 年 1 月 1 日—2020 年 10 月 1 日的运营数据,共计 16 067 条原始数据记录。本文研究从推送文章数据层面进行数据收集,主要采集了公众号名称、推送时间、文章名称、预计送达人数、公众号会话阅读人数、朋友圈阅读人数、好友分享阅读人数、阅读总人数和分享总人数,数据示例如表 2 所列。

表 2 推送文章数据示例

Table 2 Examples of pushed article data

Nick_name	Publish_date	Title	Target_user	Session	Friends	Feed_read_user	Read_user	Share_user
销售兵法	2019-04-15	奔驰女车主…	1 118 075	17 084	73 678	240 378	332 459	32 173
猫来了	2019-04-25	她刚出门…	692 100	23 666	28 927	253 504	312 278	19 930
天气预报	2019-03-31	永别了,外卖…	449 269	26 641	46 830	95 534	169 846	17 333
创业咖	2019-06-27	杀猪盘骗局…	381 932	3 766	36 358	119 307	160 622	13 523
创业咖	2019-04-15	奔驰女车主…	380 622	4 516	25 992	84 816	115 942	10 932
创意社	2019-04-02	如果把中国 422…	1 295 542	48 778	13 592	48 029	96 809	8 645
销售兵法	2019-01-21	躲得过三鹿,躲…	1 106 466	15 660	12 792	43 428	71 522	8 625
创意社	2019-08-09	香港局势背后…	1 426 249	30 531	14 533	114 902	168 564	8 538
猫来了	2019-07-31	接力! 帮助流浪…	710 307	16 061	3 843	47 337	68 567	8 095
每日瑜伽	2020-02-25	钟南山害怕的事…	877 311	—	—	—	125 425	7 901
销售兵法	2019-08-26	如果你不想上班…	1 133 128	11 426	7 437	61 470	80 160	6 917
人力资源管理	2019-03-04	我用 24 次离职…	1 104 296	18 527	11 014	54 952	86 309	6 620
销售兵法	2019-03-05	褚时健去世…	1 109 141	15 176	5 500	52 386	73 501	6 223
人力资源管理	2019-02-20	每一个情绪稳定…	1 099 745	13 467	3 834	29 888	47 763	5 662

3.2 异常值剔除

我们在对原始数据的查询加工过程中发现,数据存在部分字段取值异常的状况,本文研究拟基于以下规则对原始数据进行清洗筛选。

(1)基于本文研究的方法思路。推送文章的预计送达人数、公众号会话阅读人数、朋友圈阅读人数、好友分享阅读

人数、阅读总人数和分享总人数字段均为必填项信息，因此，对于一条数据记录，若出现以上任一字段信息取值为空的状况，则删除该条数据记录。

(2)基于常识性认知。公众号会话阅读人数、朋友圈阅读人数、好友分享阅读人数之和应小于等于阅读总人数。此外，分享总人数应小于等于阅读总人数，因为通常而言，用户都是先阅读，之后再选择是否分享。综上，对于一条数据记录，若出现公众号会话阅读人数、朋友圈阅读人数、好友分享阅读人数之和大于阅读总人数，或分享总人数大于阅读总人数的状况，则删除该条记录。

经过以上规则的筛选清洗，最初的 16 067 条原始数据剩余 15 243 条完整且符合要求的数据，数据示例如表 3 所列。

表 3　异常值剔除后数据示例

Table 3　Examples of data with outliers removed

Nick_name	Publish_date	Title	Target_user	Session	Friends	Feed_read_user	Read_user	Share_user
人力资源管理	2019-01-01	缺乏执行力…	1 088 402	7 945	2 150	6 180	16 747	1 600
朋友圈精选	2019-01-01	新型毒品悄悄…	312 397	1 885	846	2 463	5 280	645
创意社	2019-01-01	新型毒品悄悄…	1 184 817	7 524	4 367	9 232	21 569	2 637
健康时尚百科	2019-01-01	科学家终于公布…	635 084	7 628	10 118	10 038	30 127	3 161
思想新知	2019-01-02	公益 18 年，韩红…	401 135	5 358	2 408	3 663	11 881	359
人力资源管理	2019-01-03	为什么星巴克…	1 088 883	16 252	3 081	31 065	52 433	3 546
思想新知	2019-01-03	人贩子新型拐卖…	401 148	3 109	837	2 308	6 356	644
每天一首英文歌	2019-01-03	愿天下所有人…	273 670	1 988	328	1 690	4 045	348
每天一首英文歌	2019-01-02	2019 年，一个人…	273 658	2 100	352	2 055	4 551	424
每天一首英文歌	2019-01-01	我见过情商最低…	273 627	5 349	1 324	7 875	14 608	1 355
健康时尚百科	2019-01-02	快过年了；这种干…	634 988	3 626	6 189	3 379	13 151	1 239
最美旅行	2019-01-03	相恋 9 年的夫妻…	156 202	367	45	833	1 271	92
思想新知	2019-01-06	教育最大的骗局	401 210	3 719	3 154	9 727	16 836	1 607
思想新知	2019-01-05	华为工程师猝死，…	401 161	6 741	1 651	14 047	22 645	1 897

3.3　爆款文章数据筛选

本文的研究主题是信息在微信社交网络中的传播过程，并由此提出抑制信息扩散的有效策略。若公众号谣言文章的打开率、分享率极低，无须人工干预，其在微信社交网络中也会迅速消亡。此外，对于那些在微信社交网络上关注度不高的公众号文章而言，它们的传播过程极其短暂，利用控制变量法确定影响其传播的因素，精度有限，无法就此得出有效的结论。因此，本文研究将以爆款文章作为研究对象，并基于以下规则进行爆款文章数据筛选。

规则 1　朋友圈阅读人数＋好友分享阅读人数＞公众号会话阅读人数

(1)阅读总人数的公式如下：

$$N=N_1+N_2+N_3+N_4 \tag{1}$$

其中，N 表示阅读总人数，N_1 表示公众号会话阅读人数，N_2 表示朋友圈阅读人数，N_3 表示好友分享阅读人数，N_4 表示其他渠道阅读人数。

对于爆款文章而言，一般 $N_2+N_3>N_1$。

经过上述规则筛选，剩余 687 条数据记录。

规则 2　文章打开率排名在前 5%

(2)文章打开率的公式如下：

$$K=N/T \tag{2}$$

其中，K 表示文章打开率，N 表示阅读总人数，T 表示预计送达人数。

经规则 1 筛选后的 687 条数据记录按照打开率从高到低排序，选择排名前 5% 的数据记录作为本次模拟实验的研究对象，共计 35 条数据，如表 4 所列。本文研究拟用被筛选出的这 35 条爆款文章的平均阅读率、平均分享率分别模拟易感者转化为携带者的感染概率和携带者转化为传播者的传播概率。

表 4　35 条爆款文章数据

Table 4　Data of 35 popular articles

	Nick_name	Publish_date	Title	Target_user	Session	Friends	Feed_read_user	Read_user	Share_user	Read_rate/%	Share_rate/%
1	猫来了	2019-04-25	她刚出门…	692 100	23 666	28 927	253 504	312 278	19 930	45.12	6.38
2	创业咖	2019-06-27	杀猪盘骗局…	381 932	3 766	36 358	119 307	160 622	13 523	42.06	8.42
3	天气预报	2019-03-31	永别了，外卖…	449 269	26 641	46 830	95 534	169 846	17 333	37.80	10.21
4	创业咖	2019-04-15	奔驰女车主…	380 622	4 516	25 992	84 816	115 942	10 932	30.46	9.43
5	销售兵法	2019-04-15	奔驰女车主…	1 118 075	17 084	73 678	240 378	332 459	32 173	29.73	9.68
6	头条资讯	2019-04-02	30 名牺牲消防…	197 085	7 147	2 152	26 271	35 693	2 803	18.11	7.85
7	掌上书房	2019-02-02	“距离除夕…	199 598	1 552	1 407	7 090	34 761	1 281	17.42	3.69
8	每天一首英文歌	2019-07-28	文章马伊琍离婚…	282 768	9 384	4 647	33 371	48 776	3 475	17.25	7.21
9	创意社	2019-08-09	香港局势背后…	1 426 249	30 531	14 533	114 902	168 564	8 538	11.82	5.07
10	天气预报	2019-02-27	“软性毒品”卖…	446 620	21 982	8 673	21 967	52 726	3 781	11.81	7.17
11	一句	2019-02-02	“距离除夕…	963 156	19 728	5 843	25 961	113 512	5 061	11.79	4.46
12	思想新知	2019-03-31	永别了，外卖…	403 440	5 820	12 758	27 360	45 982	4 949	11.40	10.76
13	猫来了	2019-03-13	我的猫吃了…	685 703	32 243	9 520	32 938	77 298	4 458	11.27	5.77
14	头条资讯	2019-05-13	今晚新闻联播…	196 812	4 403	6 529	10 040	20 958	1 316	10.65	6.28
15	头条资讯	2019-04-15	奔驰女车主…	196 989	7 842	2 848	10 144	20 925	1 297	10.62	6.20
16	猫来了	2019-01-26	爱猫如命的…	687 323	24 577	17 180	28 469	71 238	5 317	10.36	7.46
17	猫来了	2019-01-31	我的猫离家…	685 332	27 362	6 777	31 473	69 454	5 219	10.13	7.51

(续表)

	Nick_name	Publish_date	Title	Target_user	Session	Friends	Feed_read_user	Read_user	Share_user	Read_rate/%	Share_rate/%
18	猫来了	2019-02-01	等我把猫扔…	685286	27513	3121	32399	68644	3131	10.02	4.56
19	天气预报	2019-05-29	隐瞒了50年…	444621	18740	9472	13931	44347	3056	9.97	6.89
20	猫来了	2019-06-18	昨晚地震…	696356	32272	11864	22684	67842	5528	9.74	8.15
21	猫来了	2019-07-31	接力！帮助流浪…	710307	16061	3843	47337	68567	8095	9.65	11.81
22	猫来了	2019-01-30	这部被曝虐狗…	685586	22640	3293	36947	64798	3277	9.45	5.06
23	一句	2019-03-13	埃航坠机最后…	956910	18283	7314	58927	87920	3914	9.19	4.45
24	创业咖	2019-02-05	1999年已经…	380286	2726	3249	27555	34453	2137	9.06	6.20
25	每天一首英文歌	2019-04-09	这场演唱会…	278175	4634	1880	4493	24728	649	8.89	2.62
26	销售与市场	2019-04-15	奔驰女车主…	318304	1696	6550	18604	26807	2455	8.42	9.16
27	创业咖	2019-06-16	“性冷淡”，正…	381765	9755	1101	8729	31676	893	8.30	2.82
28	电影院线	2019-02-15	这个短视频…	160295	1559	4265	7334	13219	969	8.25	7.48
29	猫来了	2019-01-13	拍了一整年…	552376	19671	4884	16365	44962	3972	8.09	8.89
30	健康时尚百科	2019-04-30	名医提醒：推…	626992	8006	11950	10269	50261	5124	8.02	10.19
31	创业咖	2019-01-25	爆了！新东方…	380350	3592	4213	22345	30401	2584	7.99	8.50
32	人力资源管理	2019-03-04	我用24次离职…	1104296	18527	11014	54952	86309	6620	7.82	7.67
33	思想新知	2019-04-19	上海17岁男孩…	403848	5068	3354	21678	30300	2408	7.50	7.95
34	创意社	2019-04-02	如果把中国42…	1295542	48778	13592	48029	96809	8645	7.47	8.93
35	思想新知	2019-05-26	华为被封杀…	404083	7547	2678	19037	30135	1223	7.46	4.06
平均值	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.09	7.11

3.4 双层微信社交网络的构建

公众号推送文章的主要传播方式是公众号通过粉丝的朋友圈、微信群和好友进行扩散，如图1所示。将微信上的用户抽象成一个个节点，用户之间的好友关系抽象成节点之间的边，每个节点的度代表这个用户的好友数量。如图2所示，整个微信社交网络可以被看作一个复杂的无向图，具备小世界特征。本文研究拟基于以下规则，构建双层微信社交网络，模拟包含公众号节点的社交网络图谱。

第一层：微信社交网络属于复杂网络结构，具有小世界效应。因此，将处于微信社交网络中的用户抽象成节点，构建小世界网络，模拟推送文章在公众号平台的粉丝及其好友间的二次/三次/…传播。

第二层：构建一个公众号推送节点，将其与第一层网络中的若干随机节点连接，模拟公众号向其粉丝推送的传播过程。

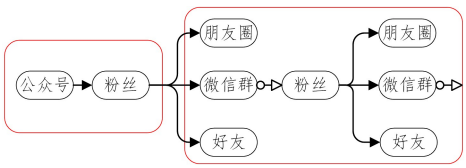


图1 推送文章的传播方式

Fig. 1 Dissemination of pushed article

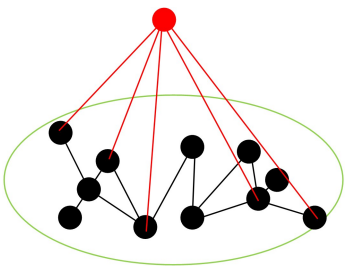


图2 双层微信社交网络

Fig. 2 Double layer WeChat social network

3.5 微信社交网络传播模型的构建

在SEIR传染病模型中，4类传染病流行范围内的人群分别是：

(1)S态，易感者(Susceptible)，指未得病者，但缺乏免疫能力，与感染者接触后容易受到感染；

(2)E态，携带者(Exposed)，指接触过感染者，但暂无能力传染给其他人的人，对潜伏期长的传染病适用；

(3)I态，传播者(Infectious)，指染上传染病的人，可以传播给S态成员，将其变为E态或I态成员；

(4)R态，免疫者(Recovered)，指被隔离或因病愈而具有免疫力的人。如免疫期有限，R态成员可以重新变为S态。

根据SEIR传染病模型，本文将微信社交网络中的用户分为4类：有途径接触到公众号推送的用户，即易感者(S态)；看了公众号推送的用户，即携带者(E态)；将推送分享到朋友圈/好友的用户，即传播者(I态)；看了公众号推送但未分享的用户，即免疫者(R态)。

仿真实验自变量定义：

(1)用户总数：整型变量，记为 N，是微信社交网络中的用户总量。

(2)粉丝数量：整型变量，记为 N_0，是公众号平台的粉丝数量。

(3)传播轮数：整型变量，记为 t，是公众号信息向外传播的轮数，公众号平台向其粉丝推送文章，记为第1轮传播。

(4)感染概率：浮点型变量，记为 P_1，是易感者转化成携带者的概率。

(5)传播概率：浮点型变量，记为 P_2，是携带者转化成传播者的概率。

(6)潜在免疫概率：浮点型变量，记为 P_3，是携带者转化成免疫者的概率。

(7)传播免疫概率：浮点型变量，记为 P_4，是传播者转化成免疫者的概率。

仿真实验因变量定义：

(1)易感者数量：整型变量，记为 $S(t)$，是第 t 轮传播后，整个系统中处于易感者状态(S态)的用户数量。

(2)携带者数量：整型变量，记为 $E(t)$，是第 t 轮传播后，整个系统中处于携带者状态(E态)的用户数量。

(3)传播者数量：整型变量，记为 $I(t)$，是第 t 轮传播后，整个系统中处于传播者状态(I 态)的用户数量。

(4)免疫者数量：整型变量，记为 $R(t)$，是第 t 轮传播后，整个系统中处于免疫者状态(R 态)的用户数量。

微信社交网络信息传播的 SEIR 模型如图 3 所示。

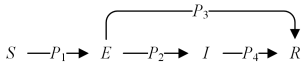


图 3　微信社交网络传播模型

Fig. 3　WeChat social network dissemination model

该传播模型遵循以下规则：

(1)当易感者 S 与传播者 I 接触，以感染概率 P_1 转变成携带者 E；

(2)携带者 E 有两种转变方向，一是以传播概率 P_2 转变成传播者 I，二是以潜在免疫概率 P_3 转变成免疫者 R，$P_2+P_3=1$；

(3)传播者 I 在对外分享过一次公众号推送信息后，将以传播免疫概率 $P_4=1$ 转变成免疫者 R；

(4)免疫者 R 将一直处于稳定的免疫状态。

根据微信社交网络传播模型图，设总用户数量为 N，经 t 轮传播后，系统中的易感者、携带者、传播者和免疫者的用户数量分别为 $S(t)$，$E(t)$，$I(t)$，$R(t)$，此时满足 $S(t)+E(t)+I(t)+R(t)=N$。根据传播规则可知：t 时刻，易感者 $S(t)$ 的变化率与感染概率 P_1 有关；携带者 $E(t)$ 的变化率与传播概率 P_2 和潜在免疫概率 P_3 有关，因为携带者 $E(t)$ 由易感者 $S(t)$ 和感染概率 P_1 决定，所以也与感染概率 P_1 有关；传播者 $I(t)$ 的变化率与传播概率 P_2、传播免疫概率 P_4 有关；免疫者 $R(t)$ 的变化率与潜在免疫概率 P_3 和传播免疫概率 P_4 有关，则可得到微信社交网络传播模型的微分形式：

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}S(t)}{\mathrm{d}t}=-p_1S(t)I(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}E(t)}{\mathrm{d}t}=p_1S(t)I(t)-(p_2+p_3)E(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}I(t)}{\mathrm{d}t}=p_2E(t)-p_4I(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}R(t)}{\mathrm{d}t}=p_3E(t)+p_4I(t) \end{cases} \tag{3}$$

4　仿真结果与分析

4.1　公众号信息在微信社交网络上的传播过程

本文研究使用 python 对公众号信息在微信社交网络上的传播模型进行实验，在信息传播仿真建模中，将公众号平台和用户抽象为网络中的节点，平台与用户的粉丝关系及用户之间的好友关系抽象为网络中的边。信息最初由公众号平台节点向粉丝用户节点传播，之后在粉丝节点及其好友节点中形成二次/三次/…传播，直至最终系统中只剩下处于 S 态(易感者)和 R 态(免疫者)两种状态的节点时，信息传播停止，整个系统处于稳定状态。

设系统中的用户总量 $N=10\,000$，利用 python. networkx 提供的小世界网络构造函数 watts_strogatz_graph()所构建的微信社交网络拓扑结构特性参数如下：节点数为 10 000，边数为 1 873 000，平均度为 374.3，平均最短路径为 1.96，聚类系数为 0.12。微信社交网络上节点的度分布图如 4 所示。

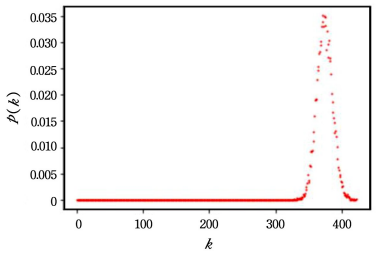


图 4　微信社交网络的度分布 $p(k)$

Fig. 4　Degree distribution $p(k)$ of WeChat social network

传播模型的各参数初始化设置：系统中用户总量 $N=10\,000$，公众号平台的粉丝数量 $N_0=3\,000$，传播轮数 $t=20$，感染概率 $P_1=0.14$，传播概率 $P_2=0.071$，潜在免疫概率 $P_3=0.929$，传播免疫概率 $P_4=1$。

仿真实验初始化状态，即信息传播轮数 $t=0$ 时，整个系统中只有公众号节点处于 I 态，该节点可向相邻节点传递信息，其他用户节点均处于 S 态，此时，$S(0)=10\,000$，$E(0)=0$，$I(0)=0$，$R(0)=0$。初始化状态下($t=0$)，信息传播效果如图 5 所示。

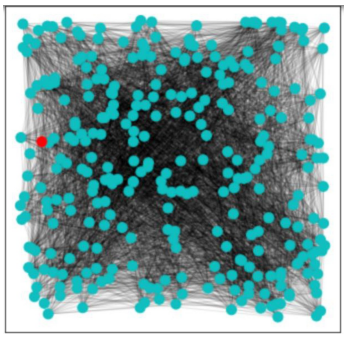


图 5　信息传播效果示意图($t=0$)

Fig. 5　Diagram of information dissemination effect($t=0$)

信息传播轮数 $t=1$ 时，公众号节点向其粉丝节点传播信息，粉丝节点将以感染概率 $P_1=0.14$ 由 S 态转化为 E 态，公众号节点完成本次传播后，将以传播免疫概率 $P_4=1$ 由 I 态转化为 R 态。$t=1$ 时，信息传播效果如图 6 所示。

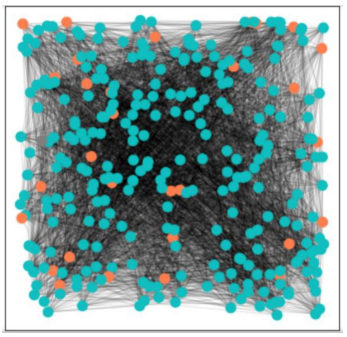


图 6　信息传播效果示意图($t=1$)

Fig. 6　Diagram of information dissemination effect($t=1$)

传播轮数 $t>1$ 时，信息在平台粉丝及其好友间进行二次传播，公众号推文逐渐向整个微信社交网络渗透。信息传播效果如图 7 所示。

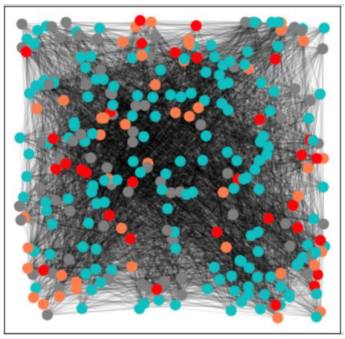


图 7 信息传播效果示意图($t>1$)

Fig. 7 Diagram of information dissemination effect($t>1$)

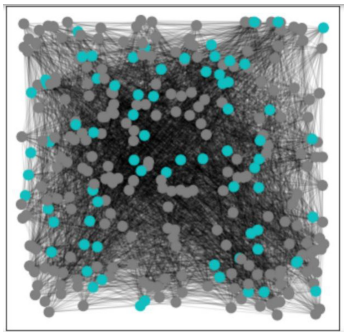
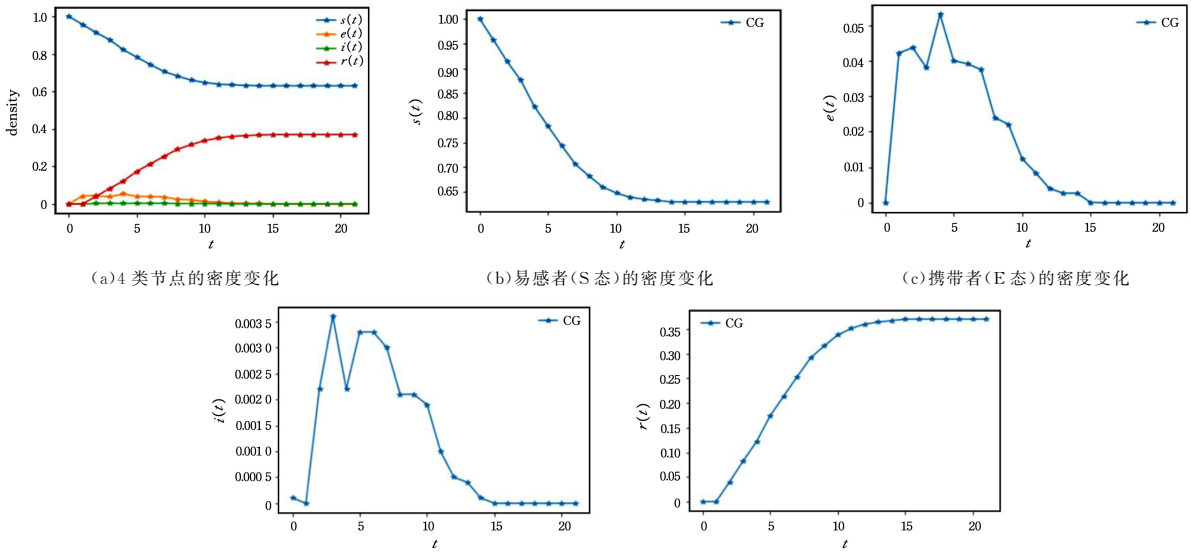


图 8 信息传播效果示意图(稳定态)

Fig. 8 Diagram of information dissemination effect (steady state)

随着传播轮数 t 逐渐增大,公众号文章信息不会无限传播下去,当整个系统中用户节点的状态只有 S 态和 R 态两种状态时,传播停止,微信社交网络处于稳定状态。此时,信息传播效果如图 8 所示。

随着传播轮数的不断增加,传播趋向深入,系统内易感者(S 态)、携带者(E 态)、传播者(I 态)和免疫者(R 态)4 类用户的数量发生变化。如图 9 所示。



(a)4 类节点的密度变化 (b)易感者(S 态)的密度变化 (c)携带者(E 态)的密度变化

(d)传播者(I 态)的密度变化 (e)免疫者(R 态)的密度变化

图 9 SEIR 模型的节点密度图

Fig. 9 Node density diagram of SEIR model

4.2 公众号粉丝对传播的影响

增加粉丝数量一直是公众号平台追求的重要目标,围绕这一目的,公众号运营者们展开了一系列运营活动。本文研究深入探究了粉丝数量对传播的影响。

为了保证实验的有效性,本文研究将采用控制变量法进行探析,保持微信社交网络的结构不变,对粉丝数量 N_0 进行合理调整,对照组 CG 的粉丝数量 $N_0=3\,000$,其他实验组的粉丝数量 N_0 分别取 1 000,2 000 和 4 000。保持 SEIR 模型中参数不变,传播轮数 $t=20$,感染概率 $P_1=0.14$,传播概率 $P_2=0.071$,潜在免疫概率 $P_3=0.929$,传播免疫概率 $P_4=1$,进行仿真实验。图 10 为在不同粉丝数量设定下,微信社交网络中接受信息的节点密度(携带者、传播者和免疫者的密度百分比之和,下同)变化状况。

如图 10 所示,公众号平台的粉丝数量越大,由该平台发布的文章最终传播覆盖的范围越广。此外,设定让微信社交网络中大约 20%的用户阅读推送,在不同的 N_0 取值下,所需的传播轮数不同,且粉丝数量越多,所需传播轮数越少。因此,粉丝数量与公众号信息在微信社交网络中的传播速度呈正相关。

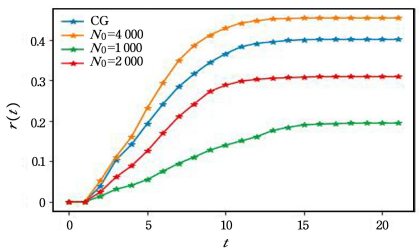


图 10 粉丝数量对传播的影响

Fig. 10 Influence of number of fans on dissemination

粉丝影响力,即一条公众号信息经平台粉丝传播后产生的阅读/转发量。本文研究拟用粉丝的好友数量作为影响力的量化指标,粉丝的好友数量越多,其影响力就越大,反之则越小。本轮实验对照组(CG)和实验组(EG)的设定如表 5 所列。

为了保证实验的客观性和准确性，对于信息在传播过程中应用的 SEIR 模型，两组实验将采用完全相同的实验参数。

表 5 粉丝影响力变化

Table 5 Changes of fan influence

Experiment name	Follower nodes production mode
CG	Random selection
EG	Probability selection (The greater the node degree, the greater the probability of becoming a follower node)

图 11 给出了采用随机选取粉丝节点规则的参照组(CG)和概率选取粉丝节点规则的实验组(EG)在不同传播轮数下，系统内处于携带者状态(E 态)的用户密度变化。在第二轮传播中，EG 组的 E 状态节点密度 $e(t)$ 迅速提升，增幅远大于 CG 组。出现上述现象的主要原因是，第一轮传播是公众号节点向其粉丝节点传递信息，在此过程中，对 $e(t)$ 产生影响的只有两个变量，即粉丝节点数量和感染概率 P_1，而两组实验在上述变量的取值上完全相同，故 E 状态节点密度变化相差不大；第二轮传播是粉丝节点向其好友(相邻节点)进行的二次传播，而 EG 组粉丝节点的平均度大于 CG 组，因此，在相同的感染概率 P_1、传播概率 P_2 下，EG 组的 $e(t)$ 增幅将明显大于 CG 组。

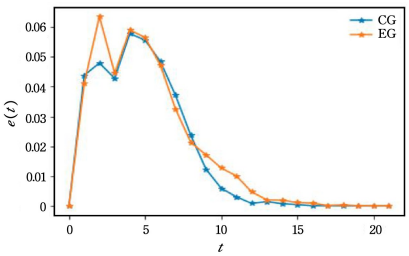


图 11 携带者(E 态)的密度变化

Fig. 11 Changes of user density in E-state

图 12 给出了不同粉丝影响力的设定下，微信社交网络中接受信息的节点的密度变化状况。在对照组(CG)设定下，当系统达到稳定时，大约 37% 的用户接触到了公众号文章信息，而在实验组(EG)中，公众号信息最终覆盖到了系统内 42%左右的用户节点，高于对照组。因此，对于公众号平台而言，其粉丝影响力越大，由其发布的信息的影响力则越大，传播范围也越广。

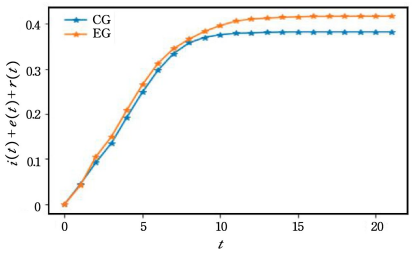


图 12 粉丝影响力对传播的影响

Fig. 12 Influence of fans' power on dissemination

4.3 感染概率 P_1 对传播的影响

感染概率 P_1 可以被看作用户点击阅读一篇推送文章的意愿，这受很多因素的影响，如文章的名称、推送时间、是否头条、推送的平台，周围人的阅读、转发状况等。为了探究 P_1 对传播的作用，本文采用控制变量法，保持微信社交网络的结构不变，SEIR 模型中其他参数不变，公众号平台的粉丝数量 $N_0=3000$，传播轮数 $t=20$，传播概率 $P_2=0.071$，潜在免疫概率 $P_3=0.929$，传播免疫概率 $P_4=1$，感染概率 P_1 如表 6 所列。图 13 给出了不同感染概率下，微信社交网络中接受信息的节点的密度变化状况。

表 6 P_1 取值变化

Table 6 Value changes of P_1

Experiment name	P_1
CG	0.14
$P_1=0.05$	0.05
$P_1=0.2$	0.2
$P_1=0.4$	0.4

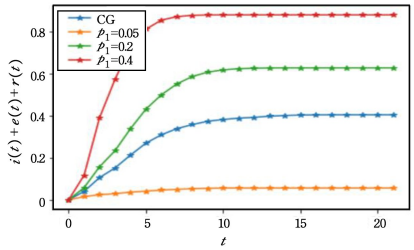


图 13 感染概率 P_1 对传播的影响

Fig. 13 Influence of infection probability P_1 on dissemination

从实验结果可以发现，随着易感者的感染概率 P_1 不断增大，系统达到稳定的速度越快，最终系统内接收到信息的用户节点数量也越多，如表 7 所列。

表 7 感染概率 P_1 对传播的影响

Table 7 Influences of infection probability P_1 on dissemination

Experiment name	T value with stable system	$i(t)+e(t)+r(t)/\%$
CG	15	40
$P_1=0.05$	20	5
$P_1=0.2$	13	62
$P_1=0.4$	9	88

4.4 传播概率 P_2 对传播的影响

由携带者到传播者的转化概率 P_2 可以被理解为用户阅读了公众号推送后转发分享的意愿强烈程度，这受推送的内容、周围人的态度等许多因素的影响。同样，为了探究传播概率 P_2 对传播的作用，保持微信社交网络的结构不变，SEIR 模型中其他参数不变，公众号平台的粉丝数量 $N_0=3000$，传播轮数 $t=20$，感染概率 $P_1=0.14$，传播免疫概率 $P_4=1$，传播概率 P_2 如表 8 所列。图 14 给出了不同传播概率下，微信社交网络中处于传播者状态的节点的数量变化。

表 8 P_2 取值变化

Table 8 Value changes of P_2

Experiment name	P_2	P_3
CG	0.071	0.929
$P_2=0.02$	0.02	0.98
$P_2=0.15$	0.15	0.85
$P_2=0.3$	0.3	0.7

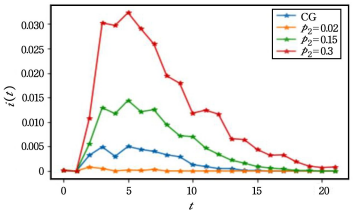


图 14 P_2对传播者节点的影响

Fig. 14 Influence of P_2 on transmitter nodes

从实验结果可以发现，虽然 P_2的改变对传播者节点的峰值有明显影响，但取得峰值的时间差不多，都在第 5 轮左右，且不同 P_2值对应的传播者密度曲线趋势变化并不明显。

图 15 给出了不同传播概率下，微信社交网络中接受信息的节点的密度变化。实验结果表明，由携带者到传播者的转化概率 P_2对公众号信息在微信社交网络中的传播范围和传播速度有明显影响，随着传播概率 P_2值不断增大，最终系统内接收到信息的用户节点的密度越大，但系统达到稳定所需的时间也随之不断增加。

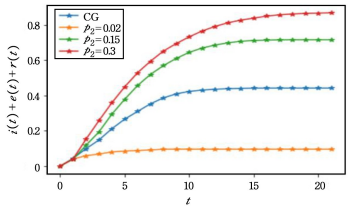


图 15 传播概率 P_2对传播的影响

Fig. 15 Influence of dissemination probability P_2 on dissemination

此外，当 P_2值较小时，信息传播范围受 P_2变动的影响更剧烈，如表 9 所列，当 P_2从 0.15 增加到 0.3，传播范围仅增大了 20%左右。

表 9 传播概率 P_2对传播的影响

Table 9 Influence of dissemination probability P_2 on dissemination

Experiment name	T value with stable system	$i(t)+e(t)+r(t)$/%
CG	15	40
$P_2=0.02$	10	8
$P_2=0.15$	19	71
$P_2=0.3$	大于 20	大于 90

对于公众号运营者而言，当发现自己的推送文章的传播概率 P_2较小时，若想在短期内迅速提升影响力，更广泛地传播公众号信息，提升传播概率 P_2将是一种非常有效的手段。相反，当公众号平台的文章传播概率 P_2已经高于行业平均水平时，对运营者而言，单纯依靠增大 P_2来提升文章的影响力，实际效果有限。

4.5 意见领袖强行免疫对传播的影响

所谓意见领袖节点，指网络结构中度较大的一小部分节点。一条信息经意见领袖节点分享转发，能够显著提升传播速度，扩大覆盖范围。反之，如果加入外力因素，强行让部分意见领袖不参与到信息的传播过程中(即强行免疫)，是否就能抑制信息在社交网络中的扩散呢？

图 16 给出了意见领袖强行免疫策略对公众号信息在微信社交网络上传播所产生的影响。其中 CG 对照组各参数的设定与初始设置相同，模拟不对意见领袖进行干预的状况下信息的传播状况。$t=2$，$t=3$，$t=4$ 和 $t=12$ 为实验组，分别代表在第 2 轮、第 3 轮、第 4 轮和第 12 轮传播中，对度大于 390 且正参与传播(即节点状态为 E 态/I 态)的节点强行置为免疫态(R 态)的条件下，信息的传播状况。

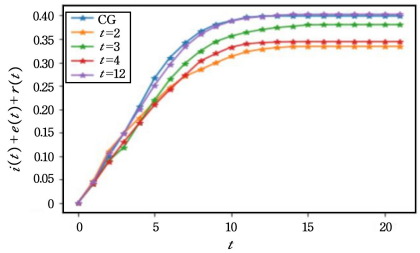


图 16 意见领袖免疫策略对传播的影响

Fig. 16 Influence of forced immunization of opinion leaders on dissemination

由图 16 可见，当系统达到稳定后，对照组 CG 中约 40%的用户最终接触到了公众号信息，而在实验组 $t=2$，$t=3$ 和 $t=4$ 中，信息的覆盖率分别为 32%，33%和 37%，均低于 CG 对照组，说明了意见领袖强行免疫策略在抑制公众号信息传播问题上的有效性。虽然意见领袖强行免疫策略能抑制信息扩散，但其抑制效果却因干预时间的不同而不同。

然而，在现实生活中，当一条谣言信息在微信社交网络上开始传播，我们不但需要采取一定的措施，更需要了解在什么时间节点采取措施才是有效的。

图 17 给出了不进行干预的状况下(CG 组)，系统内处于携带态(E 态)和传播态(I 态)用户的密度变化，从图中可以看出，在第 2 轮和第 4 轮传播时，$i(t)+e(t)$的值明显高于第 3 轮，而在第 12 轮传播时，系统内 E 态和 I 态用户的密度几乎趋近于 0，这与意见领袖强行免疫策略的抑制效果恰好对应。出现上述现象的原因可能是，在意见领袖强行免疫策略中，对符合度设定且节点状态为 E 态或 I 态的节点进行人工干预，将其置为免疫态(R 态)。因此，系统内处于 E 态和 I 态的节点数量越多，其中出现意见领袖节点的概率就越大，将其置为 R 态后，对传播起到的抑制效果则越好。

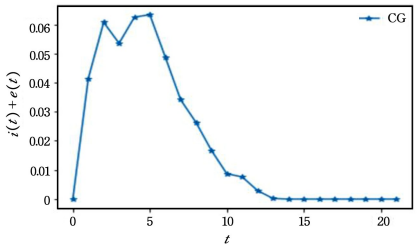


图 17 对照组 E 态和 I 态节点密度变化

Fig. 17 Changes of nodedensity in E state and I state incontrol group

综上，意见领袖强行免疫策略能有效抑制信息在社交网络中的进一步扩散，且当系统内携带者和传播者密度最大时，进行人工干预的效果最好，而当传播进行到中后期，意见领袖强行免疫策略几乎失效。

5 基于仿真结果的讨论

本文研究基于 SEIR 传染病模型，以公众号信息在微信社交网络上的传播过程作为研究对象，将微信用户和公众号

平台抽象为节点，微信用户间的好友关系及公众号平台与粉丝用户间的关注关系抽象为边，按照小世界原则，模拟构建出微信社交网络，研究公众号文章在该网络上的动态传播过程，并就公众号粉丝数量和影响力、感染概率 P_1、传播概率 P_2、意见领袖强行免疫策略对传播的影响进行实验研究，结论如下：

(1)传播过程：公众号信息向微信社交网络扩散的过程中，易感者(S 态)密度不断下降，免疫者(R 态)密度不断上升，携带者(E 态)和传播者(I 态)密度均经历了先上升，逐渐达到顶峰后再下降的过程。经过大约 15 轮传播后，整个系统趋于稳定，携带者和传播者用户数量为 0，易感者和免疫者用户数量不变。最终，公众号信息能够覆盖系统内近 40% 的用户。

(2)粉丝数量：粉丝数量与公众号信息在微信社交网络中的传播速度和范围呈正相关关系，即平台粉丝数量越多，由该平台发布的信息传播的速度就越快，覆盖的范围也越广。

(3)粉丝影响力：平台粉丝影响力越大，由其发布的信息的影响力就越大，传播范围也越广。

(4)感染概率 P_1：易感者的感染概率 P_1 越大，系统达到稳定的速度越快，最终系统内接收到信息的用户节点数量也越多。

(5)传播概率 P_2：传播概率 P_2 对系统内传播者密度有正向影响，但对传播者密度曲线的趋势变化没有明显影响。此外，P_2 对公众号信息在微信社交网络上的传播范围和速度有明显影响，随着传播概率 P_2 值不断增大，信息的传播范围不断增大，但系统达到稳定所需的时间也不断延长，且当 P_2 值较小时，信息传播范围受 P_2 变动的影响更剧烈。

(6)意见领袖强行免疫：将参与传播的意见领袖节点强行置为免疫态能有效抑制公众号信息在微信社交网络中的扩散范围，且当系统内携带者和传播者密度最大时，进行人工干预的效果最好；当传播进行到中后期时，意见领袖强行免疫措施的效果一般。

6 结论与展望

6.1 实践价值

在以上实验研究和结果探讨的基础上，本文针对微信舆情的治理和管控问题提供了一些建议，以帮助微信用户减少谣言干扰。

针对微信用户：1)不随意关注包含不良信息或恶意推广的公众号，这在一定程度上降低了用户与谣言接触的可能性，有效降低由该平台发布的谣言对整个微信社交网络的影响力；2)增强个人对谣言信息的辨别能力，坚持不信谣、不传谣，降低携带者向传播者的转化，避免更多的易感者转化为携带者，减小谣言在微信生态的扩散范围。

针对微信运营者和社会监管部门：1)加大对公众号平台的监管力度，尤其是粉丝数量大、影响力强的平台，及时查封散布不良信息的文章和平台，从源头切断公众号谣言的传播；2)积极引导携带者向免疫者转化，减少携带者向传播者的转化，从而达到尽快平息谣言事件的目的；3)关注和标记社交网络中的意见领袖节点，尽早在携带者和传播者数量较高的时间点采取意见领袖强行免疫策略。

6.2 创新点

本文有以下两个创新点：

(1)传染病模型多被应用于信息在微博社交网络上的传播研究，该模型在微信社交网络的应用研究还相对较少，尤其缺乏公众号在微信网络中的传播研究。本文采用 SEIR 模型为公众号推文在微信社交网络上的动态传播的相关研究提供了理论上的补充，同时，也为探究微信与微博之间区别的相关研究提供了一种新的思路，即从动态传播过程的角度对二者进行区分。

(2)以往关于影响微信公众号传播的因素研究，多集中于推送的时间/位置/标题/文本内容等静态方面，基于对传播过程的研究较少。本文主要对微信推送文章在社交网络中的动态传播过程进行研究，通过仿真实验定量描述影响传播的因素。

6.3 研究局限性与未来展望

在仿真模拟和实验论证阶段，本文研究保证了实验过程和实验方法的科学性、严谨性和客观性，但受限于实验数据的采集和客观条件的限制，本文研究仍存在一定的不足和优化空间。

首先，感染概率 P_1 的取值模拟精度一般。在真实的信息传播环境中，用户在微信中获取公众号信息的途径有限。因此，在本次仿真模拟中，我们的研究集中在公众号平台推送和转发朋友圈两种渠道。事实上，由于推送方式、周边人和态度等因素的影响，这两种渠道的传播概率 P_1 应该是不同的，但受限于数据采集的维度不全面，我们只能得出公众号平台推送的阅读率，用以模拟感染概率 P_1，对于转发朋友圈渠道的阅读率则未能获得。因此，本文研究只能假设两者的感染概率 P_1 相同，用前者代替后者，这在一定程度上影响了感染概率 P_1 模拟的精准性，给实验带来了误差。

其次，用户转发一篇文章的意愿成因机制比较复杂，不但受自身文化背景、喜好等因素的影响，更受周围人的态度的影响。因此，对每一个用户节点而言，传播概率 P_2 都与相邻节点是否从携带者转化成传播者有关。在本次仿真模拟中，我们选择以文章的分享总人数/阅读总人数模拟所有节点的传播概率 P_2，虽然也能相对准确地进行模拟，但无形之中弱化了受周围人影响的因素。

最后，受现有实验条件(计算机处理速度)的制约，本文实验的研究样本是由 10000 个用户节点组成的微信社交网络，这样的样本数量虽然已经比现有文献中相关实验的样本数量多很多，但相对整个微信系统而言，样本量依旧不算充足，因此依旧存在结果不够全面的风险。

针对实验中存在的种种不足，本文研究提出以下具有针对性的措施进行优化完善。

(1)扩大数据采集范围。对转发到朋友圈的文章信息进行埋点，统计该信息的曝光情况，对曝光人数进行去重处理，同时将之前采集到的朋友圈阅读人数也做去重处理，以朋友圈阅读人数/朋友圈曝光总人数模拟公众号粉丝向其好友传递信息及好友间传递信息的感染概率 P_1。

(2)优化实验过程。设定一套更加完善的机制来计算传播概率 P_2，将周围人的态度影响因素纳入考量范围之中。

(3)提升计算条件。使用性能更好的计算机基础设施，甚至可以引入服务器计算，将实验样本数量进一步扩大到 10 万、100 万，增加仿真实验重复次数，以保证实验结果的全面性和准确性。

参 考 文 献

[1] SURHONE L M, TIMPLEDON M T, MARSEKEN S F. Social media measurement [J]. Journal of Interactive Advertising, 2009, 10(1): 94-99.

[2] Watermelon data. Ecological Trend Survey Report of Q1 public account in 2021 [EB/OL]. (2021-06-02) [2021-05-20]. https://new.qq.com/rain/a/20210602A031YK00.

[3] FANG X D. Research on Wechat Communication Mechanism and Governance [J]. Modern Communication, 2013, 35(6): 122-127.

[4] WANG Y J. Exploring the communication mechanism of vertical social networks from the perspective of user d experience-- Taking microblog and Wechat as examples [J]. Art Panorama, 2016(7): 161-161.

[5] LI Y Z, ZHANG M T. Today's Massmedia[J]. Electronic Technology and Information Science, 2017, 25(12): 17-19.

[6] SONG Y K, LUO B. Research on rumor Spreading Mechanism in wechat moments[J]. Journal of Editorial Writing, 2020(4): 112-114.

[7] LI Q Q. The content communication characteristics of WeChat official account [J]. China Publishing Journal, 2018(16): 50-53.

[8] CAI G C. WeChat official account's propagation characteristics and communication advantages [J]. Journalism Probe, 2021(9): 101-102.

[9] NIE Y H, CHEN H. Content is King: Research on the influencing factors of the official Wechat communication effect of archives[J]. Archives Research, 2019(6): 53-59.

[10] LIU G, WANG X Y. The influence of the headline characteristics on the dissemination of digital media content -- Based on the empirical study of the WeChat official account of news commentary [J]. Journalism & Communication Review, 2020, 73(6): 29-39.

[11] JIANG Y B, LI Y W, LYU J X, et al. Research on communication power and Operation Strategy of wechat official Account of sci-tech periodicals [J]. Journal of Editing, 2020(3): 257-261.

[12] ZENG Y L, ZHOU L, ZHANG Y Y, et al. Strategies for improving the communication power of scientific academic journals' WeChat official accounts[J]. Tianjin Science and Technology, 2020, 47(8): 108-110.

[13] DIAO Y J, HE Y S, SHENG Y X. A two-stage model of new product diffusion in social networks [J]. Soft Science, 2017, 31(10): 115-119.

[14] ZHU H M, YAN X, JIN Z, et al. Influence of wechat group on knowledge transmission in organizations from the perspective of coupled network [J]. Systems Engineering, 2020(2): 1-10.

[15] XU R Z, LI H L, XING C M. Research on Information Dissemination Model for Social Networking Services[J]. International Journal of Computer Science and Application, 2013, 2(1): 1-6.

[16] WANG J, ZHAO L, HUANG R. SIRaRu rumor spreading model in complex networks[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2014, 398: 43-55.

[17] CANNARELLA J, SPECHLER J A. Epidemiological modeling of online social network dynamics [EB/OL]. http://ifcfba1356eab492549echcqv5xpvxk9oq66x0.fzzh.libproxy.ruc.edu.cn/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.1401.4208&lang=zh-cn&site=eds-live.

[18] WAN Y P, ZHANG D G, REN Q H. Propagation and inhibition of online rumor with considering rumor elimination process[J]. Acta Physica Sinica, 2015, 64(24): 240501.

[19] PU C, LI S, YANG X, et al. Traffic-driven SIR Epidemic Spreading in Networks[J]. Phusica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2016, 446: 129-137.

[20] LI D, MA J. How the government's punishment and individual's sensitivity affect the rumor spreading in online social networks [J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2016, 469: 284-292.

[21] MA J, LI D, TIAN Z. Rumor spreading in online social networks by considering the bipolar social reinforcement[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2016, 447: 108-115.

[22] KAZUNORI S, MASATAKA N. The mechanism of collapse of the Friendster network: What can we learn from the core structure of Friendster? [J]. Social Network Analysis and Mining, 2017, 7(1): 10.

[23] NIAN F, HU C, YAO S, et al. An immunization based on node activity[J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2018, 107: 228-233.

[24] ZHU L, ZHOU X, LI Y. Global dynamics analysis and control of a rumor spreading model in online social networks[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2019, 526: 120903.

[25] MATHUR A, GUPTA C P. Dynamic SEIZ in Online Social Networks: Epidemiological Modeling of Untrue Information[J]. International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 2020, 11(7): 577-585.

[26] ZHANG Y, HUA S S, ZHANG H. SCIR information transmission model based on forwarding behavior influencing factors [J]. Computer engineering, 2018, 44(11): 282-599.

[27] HE P. Modeling and analysis of microblog social network information dissemination based on multi-agent[D]. Qingdao: Qingdao University, 2020.

[28] GAO K. Research on Network Information Propagation Based on Node State [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2020.

[29] DENG W T, LI S J, CHEN K. Research on Network Information Transmission Model of wechat [J]. Journal of Guangdong Institute of Petrochemical Technology, 2018, 28(1): 43-47.

[30] MA Q E, ZHANG J. Research on communication mechanism of WeChat public Account based on SIR Model on complex Network[J]. Information Science, 2018, 36(7): 30-35.

CHANG Ya-wen, born in 1996, postgraduate. Her main research interests include the dynamics of social networks and electronic commerce.

YANG Bo, born in 1968, Ph.D, associate professor. His main research interests include e-commerce innovation and entrepreneurship, service outsourcing, IT governance and CIO research.

（责任编辑：柯颖）