

1-2-2019

## Impact of Rumor Spreading in a 'Small World' Social Network on Pricing Decision

Li Feng

*1.School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; ;*

Wei Ying

*2.Department of Business Administration, Jinan University, Guangzhou 510632, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Impact of Rumor Spreading in a 'Small World' Social Network on Pricing Decision

### Abstract

**Abstract:** This paper adopts methodology of multi-agent based modeling to represent rumor spreading on small-world social network and *to address impacts of rumor on pricing decision and profit of supplier*. In the model, the process of rumor diffusion follows well-accepted 'Susceptible-Infective-Removal' (SIR) model. Simulation proved that mathematic analysis of SIR model overestimated the results of rumor diffusion while *PageRank algorithm is a more 'efficient' method to choose the source node for rumor propagation according to all four proposed indicators*. Sensitivity analysis of two parameters in SIR model, spreading rate and ignoring rate, indicates that the *loss of profit will be less with the increasing of two parameters*.

### Keywords

pricing, small world network, rumor spreading, multi-agent modeling and simulation

### Recommended Citation

Li Feng, Wei Ying. Impact of Rumor Spreading in a 'Small World' Social Network on Pricing Decision[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(2): 533-542.

## 小世界网络环境下谣言传播对产品定价的影响

李锋<sup>1</sup>, 魏莹<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学工商管理学院, 广东 广州 510640; 2. 暨南大学企业管理系, 广东 广州 510632)

**摘要:** 以经典谣言传播模型 SIR 为背景, 采用多智能体建模与仿真方法分析谣言在市场上消费者小世界关系网络中传播, 企业的产品定价和利润变化。仿真结果不仅验证了前人指出的数学分析方法研究谣言传播问题的局限性。更重要的是, 仿真分析结果从四个维度指标证实了 PageRank 算法在选择谣言传播源头节点的有效性。并且, 仿真分析了 SIR 模型中谣言传播速度和停播速度两个参数对企业产品定价和利润的影响。仿真结果表明谣言传播速度越快, 或/和停播速度越快, 谣言对企业的利润负面影响就越小。

**关键词:** 定价策略; 小世界网络; 谣言传播; 多智能体建模仿真

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 02-0533-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201802021

## Impact of Rumor Spreading in a 'Small World' Social Network on Pricing Decision

Li Feng<sup>1</sup>, Wei Ying<sup>2</sup>

(1. School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Department of Business Administration, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract:** This paper adopts methodology of multi-agent based modeling to represent rumor spreading on small-world social network and to address impacts of rumor on pricing decision and profit of supplier. In the model, the process of rumor diffusion follows well-accepted 'Susceptible-Infective-Removal' (SIR) model. Simulation proved that mathematic analysis of SIR model overestimated the results of rumor diffusion while PageRank algorithm is a more 'efficient' method to choose the source node for rumor propagation according to all four proposed indicators. Sensitivity analysis of two parameters in SIR model, spreading rate and ignoring rate, indicates that the loss of profit will be less with the increasing of two parameters.

**Keywords:** pricing; small world network; rumor spreading; multi-agent modeling and simulation

## 引言

在以“腾讯微信”、“新浪微博”为代表的网络社会媒体平台上, 信息传播的速度和广度经常超出人们的想象。相比于正面、不实信息而言, 企业需要

更加积极地应对负面、不实的“谣言”扩散, 尽量抵消这类“谣言”信息造成的顾客流失、利润下降等严重后果。以人民日报报道的 2008 年四川广元的“蛆虫柑橘”事件, 2011 年“内地皮革奶粉”事件为例, 网络散布的谣言信息引发全国范围内的消费者恐慌, 导致相关产品滞销, 上市公司股价应声下跌, 直接和间接损失巨大。

针对这一社会热点现象, 政府需要加强网络监管以杜绝谣言的产生, 并抑制谣言的扩散。企业则



收稿日期: 2015-12-24 修回日期: 2016-05-05;  
基金项目: 国家自然科学基金(71572070), 广东省自然科学基金(2014A030313262);  
作者简介: 李锋(1975-), 男, 河北邢台, 博士, 副教授, 研究方向为运营管理; 魏莹(通讯作者 1977-), 女, 江西萍乡, 博士, 副教授, 研究方向为运营管理、库存管理。

<http://www.china-simulation.com>

需要制定有效的应对措施,降低谣言带来的利润损失。为此,领域专家广泛接受的是借用病毒传播的 SIR 模型来描述谣言在网络中的传播过程,并应用平均场理论(Mean Field Theory)计算谣言传播的结果。但是,前人的研究工作表明 SIR 模型的平均场分析过度简化了谣言传播的过程,计算结果与实际谣言传播(计算机仿真)相去甚远。

为此, 本篇论文采用智能体建模与仿真方法, 真实再现谣言在典型的网络社交媒体中的传播, 以及谣言通过对消费者个体购买决策的影响从而影响产品的整体市场需求。在此基础上, 从企业的视角探讨市场需求降低的应对措施, 最大限度地降低谣言引发的损失, 实现收益最大化。

通过智能体仿真分析, 我们得到以下重要的结论:

1) 采用峰值时间、峰值节点数、广度和结束时间四个指标综合评价(谣言)信息传播的效果和效率, 确定了 PageRank 算法在选择(“谣言”)信息传播源头节点时的有效性。

2) 谣言传播的越迅速, 衰退的越快, 即“来的快、去的快”, 谣言对市场需求的作用就越小。在此情景下, 企业的产品定价策略波动越大, 但利润却损失较小。相反, 如果谣言在市场中慢慢传播, 其对市场需求影响较大, 此时产品定价波动较小, 但是利润下滑迅速。

3) 企业在面临谣言传播时, 有效的应对措施是加速谣言传播, 即迅速的平息谣言。此时, 结合相应的产品定价策略, 能够最大限度的抑制谣言传播对公司的负面影响。

## 1 研究现状

随着社交媒体及在线社会网络的繁荣, 信息传播, 特别是谣言传播, 成为领域专家的研究热点问题。

总体来说, 谣言传播的量化分析主要是借鉴病毒传播的 SIR 模型, 以广度(感知到信息的节点数量占总节点数的比例)作为评价信息传播的指标。

不同的是, 谣言传播强调“信息”与“病毒”在传播过程中的差异性。例如, 网络结构、网络节点(人)的行为差异、具体谣言内容等对信息传播的影响。例如, 文献[1-4]分析了网络结构对谣言传播的影响。其中, 文献[1]分析了小世界网络环境下的谣言传播 SIR 模型, 给出了信息传播广度的计算公式。论文指出谣言传播的广度与构造小世界网络的一个参数“重连概率  $p$ ”有关: 当该参数低于一个阈值时, 谣言在网络中传播的广度趋近于零。文献[2]分析了无标度网络中的谣言传播, 同样指出谣言传播存在一个阈值。文献[3]考虑了谣言传播中的随机性, 并对比了同质网络与异质网络中的谣言传播。相比于文献[1]中构造小世界网络的参数影响, 文献[3]谣言传播模型下谣言一定能够传播开, 即谣言传播的广度大于零。文献[4]类似的分析了不同的网络(网络结构)对谣言传播结果的影响: 网络的平均度分布越大, 异质性越高, 谣言传播的广度越大。

文献[5-8]分析了网络节点个体属性对谣言传播的影响。其中, 文献[5]考虑了节点的谣言接受程度, 将文献[3]中谣言传播模型的“接受概率  $\lambda$ ”从一个常量值扩展为一个复杂的时间函数。同时, 文献[5]也采用多智能体仿真的方法对比分析了同质和异质网络中的谣言传播; 文献[6-7]则细化了节点的个体差异, 应用模糊数描述节点的谣言态度, 进而采用演化博弈理论去解释谣言传播的结果; 文献[8]考虑了节点传播谣言的兴趣随时间逐步衰减, 即遗忘率对谣言传播的影响。文献[9-12]则从状态转移的视角重新构建了网络节点的信息传播过程。其中, 文献[9-10]增加了一个信息传播的中间态—“潜伏”状态, 即用户听到谣言后并不会立即传播谣言; 文献[11]考虑了用户可能主动辟谣的情景, 即增加了一个“反击”状态; 文献[12]细分了 SIR 模型中的“恢复”状态为“免疫”状态和“恢复”状态。其中, “免疫”状态是指用户听到谣言后不传播, 而“恢复”状态是指用户传播谣言后不多次传播。对这些扩展 SIR 模型的分析内容, 基本上都是谣言传播的广度指标。

除此之外,还有专家分析了正面和负面两种对立信息同时传播的情景<sup>[13]</sup>、两条相似信息的同时传播<sup>[14]</sup>,以及谣言内容是否吸引用户去传播<sup>[15]</sup>。

前人对谣言传播的研究主要是采用传播动力学或平均场理论进行数学建模分析,计算得到谣言传播的最终稳定结果<sup>[1-4,8,10,11,13-15]</sup>。但是,人们忽视了数学建模带来的过度简化导致谣言传播结果的“失真”。例如,平均场理论的 SIR 模型分析中,假定每个节点与网络中其它节点都有可能,相同可能接触/传染。但是实际网络中,每个节点的相邻节点是固定的,即它只能和这些节点接触,而不能和其它节点接触。文献[1,16-17]通过仿真发现谣言传播的结果(广度指标)会出现两个明显差异的峰值(分布密度函数):其中一个较大的峰值点与数学建模分析结果一致,表明谣言的传播会稳定在特定的水平上;而另一个趋近于零的峰值点表明了谣言在一定情况下有可能无法被传播开去!更重要的是,前人并没有深入分析谣言传播对企业运营策略和绩效的影响,无法解答企业的实际运营问题<sup>[18]</sup>。

因此,本论文以典型的社会网络—小世界网络为谣言传播的网络平台,通过仿真分析谣言在消费者中传播情景下的企业产品定价策略问题。

## 2 多智能体仿真模型

### 2.1 问题描述

假定市场中潜在消费者对于某新产品的价值判断  $v$  服从均匀分布,即  $v \sim Uniform[0,1]$ 。当产品的市场价格  $p$  小于等于  $v$  时,潜在消费者会选择购买一件产品;反之则不会购买产品。在此情景下,产品的需求  $D=1-p$ ,企业的收益  $R=p \cdot D=p \cdot (1-p)$ 。因此,企业的产品定价和收益如下:

$$p^* = 1/2, D^* = 1/2, R^* = 1/4 \quad (1)$$

本篇论文则在此基本情景下,考虑在产品的销售季到来之前,有关该新产品的一条负面信息出现在市场。该谣言将在潜在消费者间的“小世界”社会关系网络中自发传播。

借鉴 SIR 传播模型,假定谣言由一个唯一的源头节点发起,谣言传播的过程如文献[3]:当一个谣言传播者(“T”状态节点)试图向其相连的节点传播谣言时,如果该节点为无知者(“S”状态节点),该无知者将以  $\lambda$  的概率(“谣言传播概率 (spread probability)”)变成传播者;如果该节点也是传播者(“T”状态节点)或者是免疫者(“R”状态节点),则传播者将以  $\alpha$  概率(“谣言停播概率 (resistant probability)”)变成免疫节点(“R”状态节点)。谣言传播的最终结果是所有的节点或者是免疫者(“R”状态节点),或者是无知者(“S”状态节点)。

如前所述,如果将谣言传播过程简化,可以建立其数学模型(传播动力学模型),进而可以计算得到最终市场中免疫者(“R”状态节点)的比例  $r_\infty$  满足以下公式:

$$r_\infty = 1 - \exp[-(1 + \lambda/\alpha) \cdot r_\infty] \quad (2)$$

本文假定谣言传播后所有感知到谣言的潜在消费者(即“R”状态节点)都会选择放弃购买该产品。此消费者行为与前人的假设一致<sup>[6-7]</sup>,即消费者的“从众心理”或消费者“宁可信其有”的心理。

因此,企业的最优定价和收益如下:

$$p^* = 1/2, R^* = (1 - r_\infty)/4 \quad (3)$$

### 2.2 多智能体仿真模型

研究问题的多智能体建模主要包括两个部分:构建潜在消费者之间的小世界社会关系网络以及谣言传播模型,和潜在消费者购买决策建模以及产品定价问题求解。

其中,小世界网络的构建可以通过设定包括节点数量等参数,由第三方软件生成,并检验其小世界特性。随后,通过小世界特征检验的社会关系网络被引入多智能体模型中,作为智能体之间关系模型。

谣言传播的建模可以将文献[3]中 SIR 动力学仿真模型改写成为多智能体仿真模型,并用动力学仿真模型的结果进行多智能体模型的检验和验

证。具体来说，谣言传播过程的多智能体仿真流程如下所示：

1) 初始化：将所有节点的状态设置为  $S$ ，即无知者；确定谣言传播的源头节点，将其状态设置为  $I$ ，即传播者。

2) 从  $I$  状态的节点集合中，随机选择一个节点  $i_n$ 。

3) 从节点  $i_n$  所有连出的节点中随机选择一个节点  $n_{n+1}$ 。

4) 如果节点  $n_{n+1}$  是  $S$  状态，则节点  $n_{n+1}$  以  $\lambda$  的概率变成  $I$  状态；如果节点  $n_{n+1}$  是  $I$  状态或  $R$  状态，则节点  $n_{n+1}$  以  $\alpha$  概率变成  $R$  状态。

5) 重复步骤 2-4，直到不存在  $I$  状态节点，仿真结束。

仿真结束后，网络中所有节点都为  $I$  状态或  $R$  状态。其中，状态为  $R$  的节点都感知到谣言，而状态为  $I$  的节点都没有感知到谣言。

谣言传播的效率指标，即谣言传播的覆盖率  $P_R$  定义为状态  $R$  节点占有所有节点的比例，即：

$$P_R = N_R / N = N_R / (N_R + N_I) \quad (4)$$

如图 1 所示，多智能体仿真模型中，智能体的决策主要考虑其在谣言传播结束后的最终状态，和产品定价两个因素。

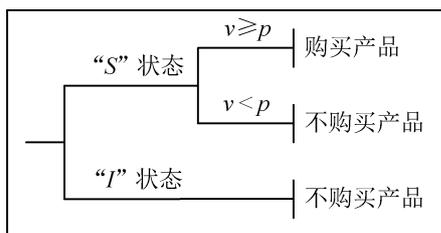


图 1 智能体的决策模型

Fig. 1 Decision tree for 'customer' agent

最后，企业的最优定价决策是通过尝试所有的价格可行解，从中选择企业收益最大的价格策略。

另外，由于仿真模型中包含众多随机变量，例如市场中潜在消费者对于产品的价值判断  $v$  服从均匀分布，无知者状态转移服从参数  $\lambda$  的二项式分

布等，相同参数设置下的多智能体仿真必须重复多次，以平均值作为最终的仿真结果。

### 3 仿真模型的验证

本文以 Netlogo 5.2 多智能体建模与仿真平台下开发实现研究问题的多智能体仿真模型。

#### 3.1 小世界网络的验证

小世界社会关系网络，或者说社会关系网络的小世界特性，是指网络的平均路径长度较短，又具有较高的聚类系数<sup>[19]</sup>。本论文应用复杂网络分析软件 Pajek4.05(<http://pajek.imfm.si>)生成了一个 5 000 节点的小世界网络。具体构建参数如表 1 所示。

表 1 Pajek 软件生成小世界网络中的参数设置  
Tab. 1 Network configuration generated by Pajek

参数	设置值
Number of Vertices(节点数量)	5 000
Number of Linked Neighbors on each Side of a Vertex (节点单边的连接节点数量)	3
Replacement Probability(节点重连概率)	0.10

将 Pajek 软件生成的小世界网络与相同节点数量的 ER 随机网络(ER random network)进行网络特征值的对比。表 2 给出了算法生成的小世界网络与随机网络的关键特征值(由 Pajek 软件计算得到)。

表 2 小世界网络与随机网络的网络特征对比  
Tab. 2 Network comparison: Small-world vs. E-R random network

网络	平均路径长度 (Average Path Length)	平均聚类系数 (Average Clustering Coefficient)
小世界网络	7.611 5	0.445 6
E-R 随机网络	4.753 5	0.001 2

从表 2 数据可以看出，算法生成的小世界网络平均聚类系数远远大于随机网络的平均聚类指标，且其平均路径长度非常小。同时，从图 2(R 3.2.0 软件绘制，下同)可以看出小世界网络中节点的度

分布相对比较均匀(平均值为 20), 呈现钟形分布形状。这几个指标特征共同表明了生成的小世界网络为一个典型的小世界网络, 且不具有无标度特性。

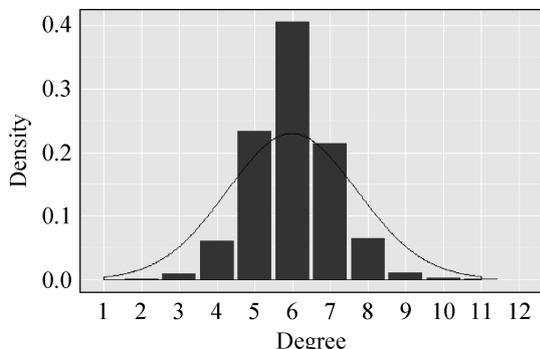


图 2 小世界网络中节点的度分布

Fig. 2 Degree distribution of nodes in the generated small-world network

### 3.2 谣言传播 SIR 模型的验证

设定与文献[3,16]中仿真模型相同的参数, 即 Pajek 软件构建小世界网络中参数  $N=5000, K=2, P=0.30$ , 谣言传播 SIR 模型中参数  $\lambda=1.00, \alpha=1.00$ 。应用 Pajek 软件生成小世界网络, 在该网络重复谣言传播仿真  $10^5$  次。仿真结果如图 3 所示。

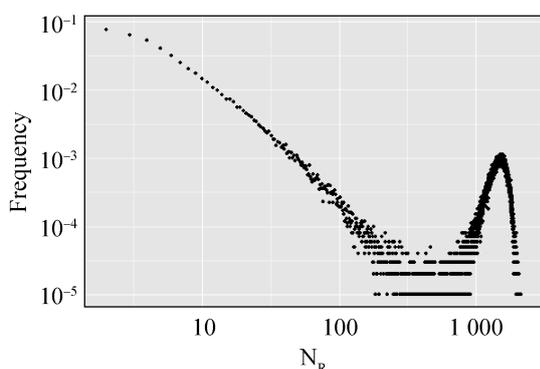


图 3 小世界网络中谣言传播仿真结果

Fig. 3 Simulation results of rumor diffusion on the small-world network

从仿真结果的概率分布图可以看出, 仿真结束后免疫节点的数量( $N_R$ )在接近 0 的位置概率最大。当  $N_R$  接近 1 000 时, 概率又达到了第二个峰值。并且, 最终市场中免疫者的比例  $r_\infty=0.3028$ 。仿真

数据结果表明谣言传播的结果呈现系统性两极分化, 即既可以达到传播“开”的 0.3028 的广度, 也可以达到传播“不开”的 0.00 的结果。此结果与文献[1, 16-17]结果一致。

而此时由公式(2), 在给定参数值  $\lambda=1.00, \alpha=1.00$ , 可以得到其数学模型的解  $r_\infty=0.8130$ <sup>[3]</sup>。此结果远远大于仿真模型给出的分析结论。产生此差别的根本原因在于: 根据平均场理论下谣言传播模型, 一个节点规模为  $N$  的网络中一个点度为  $m$  的节点可以和“任意”一个节点接触并被感染(感染的概率为  $m/N$ )。而实际谣言传播中, 一个节点只能和  $m$  个固定的节点接触, 并只能被这些  $m$  个节点所感染。数学模型的过度简化使计算结果偏离了实际情况。

因此, 通过仿真可以确定: 谣言传播的数学模型由于对问题的过度简化, 导致数学分析不能真实再现谣言传播的不确定性特征(图 3 所示的双峰特性), 以及夸大了谣言传播的广度结果。

## 4 基于仿真的问题求解

以表 1 所示参数创建的小世界网络为研究对象, 进行谣言传播仿真以及企业定价问题求解。其中, 设定仿真重复次数  $M=120$ ; 谣言传播中的概率  $\lambda=0.30$ , 概率  $\alpha=0.20$ 。

### 4.1 谣言传播的源头节点选择

在信息传播的机制确定情景下, 信息传播的效果决定于信息传播的源头节点。

为此, 我们测试三种不同的源头节点选择方式, 即任意选择一个节点(Random)、最大出度的节点(Max Out-Degree)、PageRank 算法<sup>[20]</sup>。而评价信息传播效果的指标包括<sup>[17]</sup>: 信息传播过程中峰值时刻(1)和节点数(2)、信息传播结束时的广度(3)和时间(4)。其中, 峰值时刻和节点数反映了信息传播的速度, 而广度和结束时间则反映了信息传播的最终结果。

如表 3 所示, 由 PageRank 算法计算得到的源

头节点进行信息传播, 信息转播的最终结果最好(广度指标值最大)。并且, 相比于广度指标值比较接近的最大出度源头节点的信息传播, 其信息传播的更快(峰值到来的时间点要更早, 峰值节点数量更大)。此结果表明, 采用 PageRank 算法选择源头节点, 其信息传播的效果更好。

图4给出了120次仿真结果的对比(箱型图)。从图4可以看出, 不同源头节点的120次仿真结果, 数据的分散程度比较类似, 区别在于数据的集中趋势。即, 将表3和图4所示的数据结合起来, 可以确定 PageRank 算法选择源头节点的有效性。

因此, 下面对于谣言传播的分析, 将确定采用 PageRank 算法选择源头节点, 即假定谣言传播采用最有效的源头节点, 仿真“最坏”的。

表3 源头节点对信息传播的影响  
Tab. 3 Impact of different kind of source node on rumor diffusion

	随机	最大出度	PageRank
峰值时刻	11,099	12,094	11,908
峰值节点数	288	299	306
广度	54.90%	57.49%	58.70%
结束时间	22,907	23,945	24,466

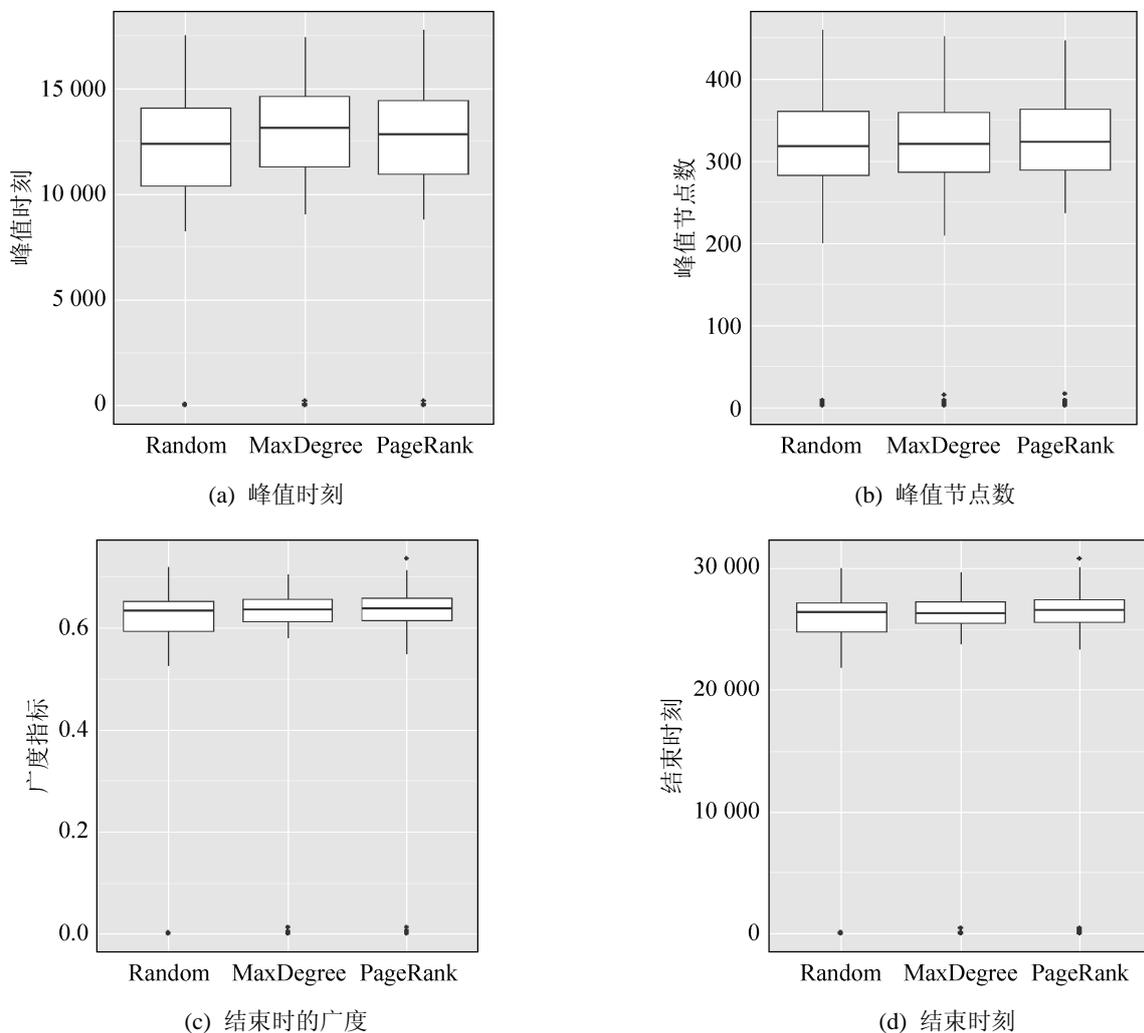


图4 不同源头节点的信息传播结果对比

Fig. 4 Impact of three kind of source node on performance of rumor diffusion

## 4.2 基本问题的模型求解

以 PageRank 算法计算得到的节点作为源头节点, 在给定的小世界网络和谣言传播参数设定下进行仿真。

仿真结果如图 5 所示: 当企业将产品价格设定地较低时, 市场需求(“avg Demand”)波动性较大。这表明当价格较低时, 谣言传播的影响较为明显。而当产品的价格较高时, 市场的需求变化较为有规律。这表明谣言的影响因产品的高价而被抑制。

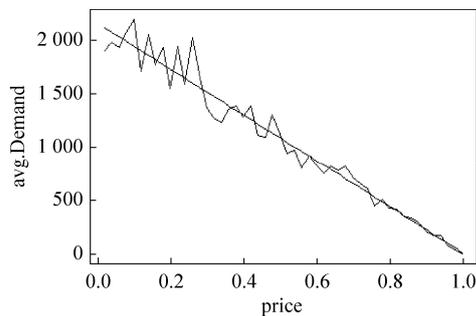


图 5 产品需求与产品价格变化关系图  
Fig. 5 Line chart of price vs. average demand

从产品需求的线性回归线 ( $\hat{D} = 2153.40 - 2139.40 \cdot p$ )也可以看出当产品价格较高时, 产品需求与不考虑谣言传播时的需求( $D=1-p$ )比较类似: 线性回归方程的斜率  $-0.9935$  ( $2139.40/2153.40 \approx -1.00$ )。

由图 6 所示的产品利润(“avg Profit”)变化曲线可以得到, 最优解为:

$$p^* = 0.48, D^* = 1299.96, R^* = 623.98 \quad (5)$$

给定  $\lambda=0.30, \alpha=0.20$ , 由公式(2)可以得到  $r_\infty=0.893$ 。此时由公式(3)得到数学分析给出的最优定价和产品利润为:

$$P^*=0.50, R^*=0.02675 \quad (6)$$

对比仿真分析结果与数学模型计算结果, 可以再次验证数学模型计算得到  $r_\infty(=0.893)$ 的仿真结果大很多。

## 4.3 仿真模型的参数分析

鉴于研究问题中谣言传播对产品的市场需求影响较大, 下面在保持模型其它参数不变的情景

下, 分别仿真谣言传播模型中参数  $\lambda, \alpha$  的影响。

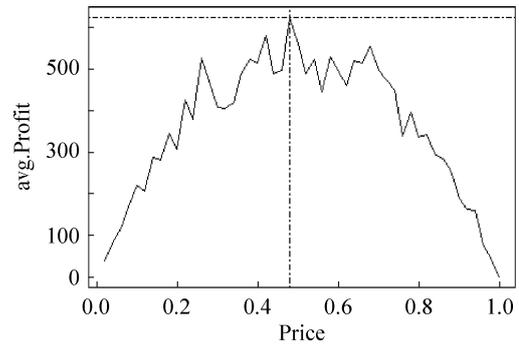


图 6 产品利润随产品价格变化图  
Fig. 6 Line chart of price vs. average profit

整体上看, 谣言传播的最终结果  $r_\infty$ , 即广度指标, 会受到这两者共同作用而较为复杂。其中, 谣言传播概率值  $\lambda$  越大, 则谣言传播的越迅速; 而谣言停播概率值  $\alpha$  越大, 则谣言越快速被平息和遗忘。

### 4.3.1 谣言传播概率 $\lambda$ 的影响

在谣言停播概率  $\alpha$  保持不变的前提下, 谣言传播概率值  $\lambda$  越大, 一个谣言的传播者将更快速地将信息传递给他的朋友, 即谣言传播的速度越快。

如图 7 所示, 在给定谣言停播概率  $\alpha=0.20$  情景下, 重复仿真 200 次, 给出不同谣言传播概率  $\lambda$  作用下的谣言传播的最终“R”状态节点数。

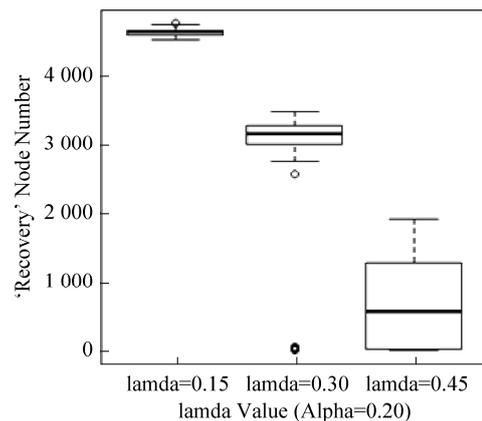


图 7 传播概率  $\lambda$  (lamda) 对谣言传播结果的影响  
Fig. 7 Impact of parameter  $\lambda$  (lamda) on rumor diffusion

图 7 结果显示, 随着谣言传播概率值  $\lambda$  的增大, 谣言传播的速度越快。而与此同时, 由于谣言停播机制的存在, 谣言传播的广度越小, 即最终“R”状

态节点数(“Recovery’ Node Number”)越小(均值越小, 且方差越大)。

下面给出了在 $\alpha=0.20$  和 $\alpha=0.25$  两个情景下, 谣言传播概率 $\lambda$ 与产品的市场需求 $D^*$ , 产品的最优定价 $p^*$ , 和市场利润 $R^*$ 之间的关系。

如图8所示, 产品的最优定价策略在传播概率值 $\lambda$ 较小时, 波动较小, 且与基本模型中最优值(0.50)差别不大。这表明此时谣言传播虽然对产品需求产生影响, 但是对产品定价策略影响较小。而当谣言传播概率值 $\lambda$ 较大时, 谣言的快速传播对市场影响较大。并且, 此时由于谣言停播概率值 $\alpha$ 的共同作用, 价格波动更大, 更加非线性。

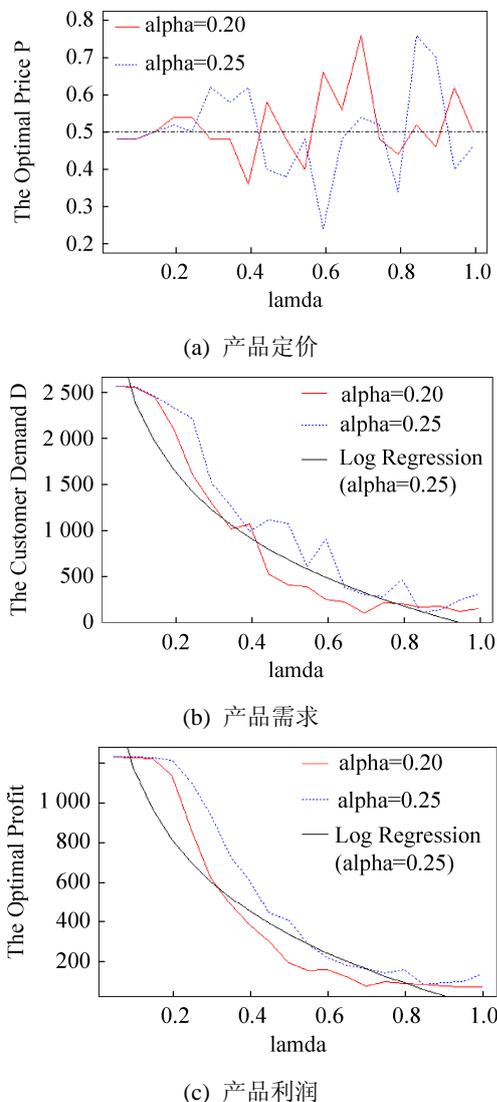


图8 谣言传播概率 $\lambda$ (lamda)的影响示意图  
Fig. 8 Impact of parameter  $\lambda$  (lamda) on the firm

从图8所示的产品需求变化可以看出, 随着谣言传播概率值 $\lambda$ 增加, 谣言传播广度呈现对数模式增长(图8中给出的谣言停播概率值 $\alpha=0.20$ 情景下的对数回归线), 因而产品的市场需求呈现对数模式减少。并且, 对比谣言停播概率值 $\alpha=0.20$  和 $\alpha=0.25$  两种情景, 可以发现谣言停播概率值越小( $\alpha=0.20$ ), 谣言传播的广度就越大, 而产品的需求就越小。

图8给出的产品最优利润值变化模式基本类似产品的需求变化。不过, 需要注意的是, 相比于产品需求的衰减波动较大, 产品的利润在产品定价和需求的共同作用下波动较小。

#### 4.3.2 谣言停播概率 $\alpha$ 的影响

谣言停播机制会使得谣言传播者之间的接触引发停止继续传播谣言, 因而导致谣言停播的速度也就越快, 即谣言的衰减也越快。

图9结果显示, 随着谣言停播概率值 $\alpha$ 的增大, 谣言的实际传播者迅速衰减, 因而谣言传播的广度逐步越小, 即最终“R”状态节点数越小。

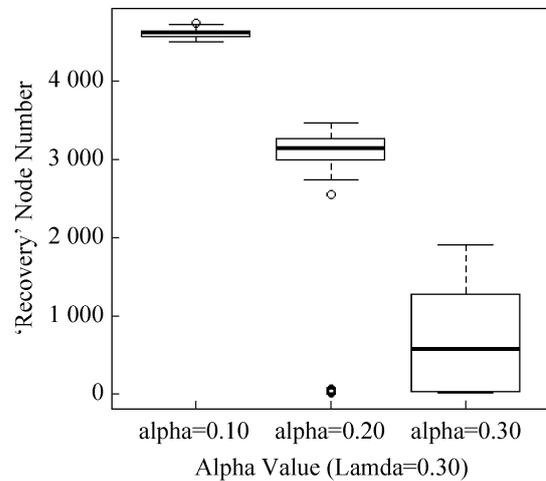


图9 停播概率 $\alpha$ (alpha)对谣言传播结果的影响  
Fig. 9 Impact of parameter  $\alpha$  (alpha) on rumor diffusion

如图10所示, 停播概率值 $\alpha$ 对研究问题的影响与谣言传播概率值 $\lambda$ 的影响正好相反。当停播概率值 $\alpha$ 较小时, 产品的最优定价波动较大, 且偏离0.50较多。而当停播概率值 $\alpha$ 较大时, 产品的最优定价相对比较稳定, 在0.50上下波动。

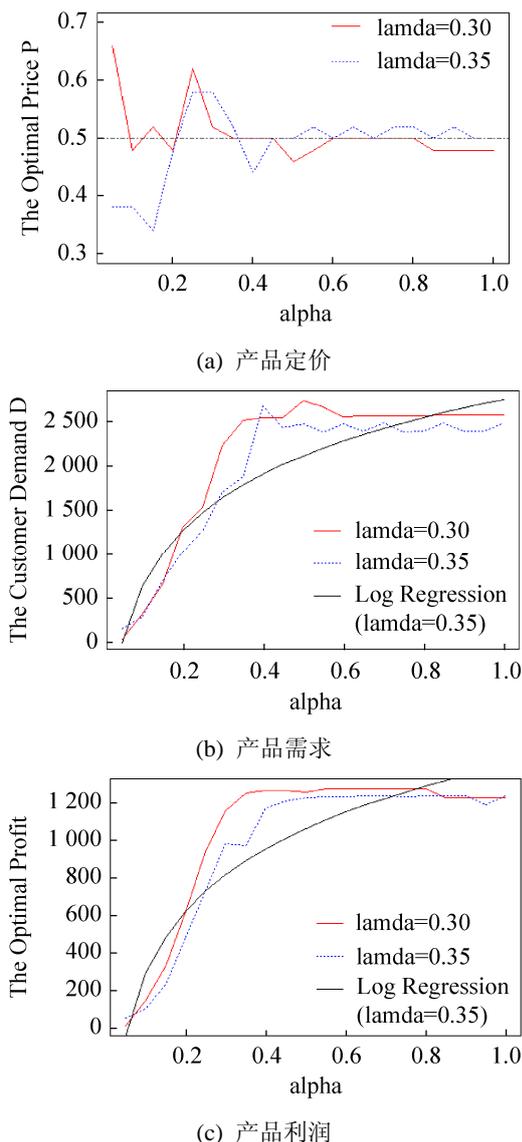


图 10 谣言传播概率 $\alpha$ ( $\alpha$ )的影响示意图  
Fig. 10 Impact of parameter  $\alpha$  ( $\alpha$ ) on the firm

从图 10 显示的产品需求和利润变化可以看出, 当停播概率值 $\alpha$ 越大, 谣言传播衰减的越快, 即谣言的影响力越小。因此, 市场的需求和利润呈现对数形式的增长(图 10 中给出的谣言停播概率值 $\lambda=0.35$  情景下的对数回归线)。并且, 随着谣言传播概率值 $\lambda$ 越大, 谣言传播速度越快, 衰减的速度也越快, 即谣言的影响越小。

#### 4.4 仿真结果分析

通过上面对于谣言传播情景下的产品定价及收益仿真分析, 可以得出以下结论:

1) 谣言传播的数学分析和结果与仿真结果差距较大, 反映出简化后的数学模型和分析结果不能够真实的再现谣言传播的实际情况和决策影响。因此, 从研究方法上说, 仿真是一种更加适合研究谣言传播过程和效果的方法。

2) 从谣言传播的角度, 谣言传播的源头对传播有显著影响。为了体现源头节点对谣言传播过程和效果的影响, 论文采用了四个评价指标综合量化源头节点的影响力。仿真结果表明, 相比于中心度指标等多种评价或搜算算法, PageRank 算法计算得到的源头节点具有最大的传播效果。因此, 对于一个可以观测的传播网络而言, 企业或者监管部门应该更加重视 PageRank 算法计算值高的节点集合, 预防这些节点发起或者转发谣言信息。

3) SIR 模型下, 谣言传播的越快(谣言传播概率值 $\lambda$ ), 或者谣言消失的越快(谣言传播概率值 $\alpha$ ), 谣言对企业的产品定价策略影响越大。但是同时, 企业的利润却损失较小。因此, 谣言相关的企业可以通过诸如话题转移等方法加速谣言的消失, 从而可以减少企业的损失。

4) 谣言传播的越慢, 或者(并且)谣言消失的越慢, 企业的定价策略越不受影响, 即趋近于 0.50。然而, 谣言在市场中“慢慢发酵”, 受到影响的消费者就越多, 企业的利润因此损失就越大。因此, 谣言信息相关的企业需要警惕网络中的谣言“幽灵”, 即使其当前对企业决策影响不明显, 但是随着时间的推移, 其最终的影响将超出企业的想象。

## 5 结论

本篇论文采用多智能体仿真的研究方法, 分析了当产品相关的谣言在小世界的消费者社会网络中扩散, 企业的产品定价策略以及收益情况。

首先, 谣言传播的数学分析与仿真结果相去甚远, 表明了数学分析方法的不适用性, 以及仿真分析方法的有效性。其次, 谣言传播对企业的产品定价和收益有显著影响。进而, 通过对谣言传播的参数分析, 发现谣言传播越迅速, 衰退越迅速, 产品

的价格波动越大,但是利润损失不大。相反,如果谣言传播越慢,或衰退越慢,产品的定价越稳定于理论值,但是利润下降迅速。因此,对于企业而言,当谣言出现的时候,采取补救措施加速平息谣言,能够有效的减少谣言对企业利润的影响。

### 参考文献:

- [1] Zanette D H. Dynamics of Rumor Propagation on Small-world Networks[J]. *Physical Review E* (S1550-2376). 2002, 65(4): 041908.
- [2] Nekovee M, Moreno Y, Bianconi G, et al. Theory of Rumour Spreading in Complex Social Networks[J]. *Physica A* (S0378-4371). 2007, 374(1): 457-470.
- [3] Moreno Y, Nekovee M, Pacheco A F. Dynamic of Rumor Spreading in Complex Networks[J]. *Physical Review E* (S1550-2376). 2004, 69(6): 066130.
- [4] 王长春, 陈超, 董志强. 网络结构对谣言传播的影响[J]. *系统仿真学报*, 2013, 25(1): 127-138.  
Wang C C, Chen C, Dong Z Q. Effect of Network Structure on Rumor Propagation[J]. *Journal of System Simulation*. 2013, 25(1): 127-138.
- [5] 王辉, 韩江洪, 邓林程, 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): 96-107.  
Wang H, Han JH, Deng L C, et al. Dynamics of Rumor Spreading in Mobile Social Networks[J]. *Acta Physica Sinica*. 2013, 62(11): 96-107.
- [6] 张芳, 司光亚, 罗批. 基于演化博弈理论的人际谣言传播仿真模型研究[J]. *系统仿真学报*. 2011, 23(9): 1772-1775.  
Zhang F, Si G Y, Luo P. Study on Rumor Spreading Model Based on Evolution Game[J]. *Journal of System Simulation*. 2011, 23(9): 1772-1775.
- [7] 张芳, 司光亚, 罗批. 一个基于沟通函数的谣言传播仿真模型[J]. *系统仿真学报*, 2011, 23(11): 2482-2486.  
Zhang F, Si G Y, Luo P. Rumor Propagation Model Based on Communication Functions and Finite Memory[J]. *Journal of System Simulation*. 2011, 23(11): 2482-2486.
- [8] 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.  
Wang X L, Zhao L J, Xie W L. Rumor Spreading Model with Variable Forgetting Rate in Scale-Free Network[J]. *Systems Engineering- Theory & Practice*. 2015, 35(2): 458-465.
- [9] 顾亦然, 夏玲玲. 在线社交网络中谣言的传播与抑制[J]. *物理学报*, 2013, 61(23): 544-550.  
Gu Y R, Xia L L. The Propagation and Inhibition of Rumors in Online Social Network[J]. *Acta Physica Sinica*. 2013, 61(23): 544-550.
- [10] Xia L L, Jiang G P, Song B, et al. Rumor Spreading Model Considering Hesitating Mechanism in Complex Social Networks[J]. *Physica A* (S0378-4371), 2015, 437(1): 295-303.
- [11] Zan Y, Wu J, Li P, et al. SICR Rumor Spreading Model in Complex Networks: Counterattack and Self-Resistance[J]. *Physica A* (S0378-4371), 2014, 405(1): 159-170.
- [12] Li D, Ma J, Tian Z, et al. An Evolutionary Game for the Diffusion of Rumor in Complex Networks[J]. *Physica A* (S0378-4371), 2014, 433(1): 51-58.
- [13] Yan S, Tang S, Pei S, et al. The Spreading of Opposite Opinions on Online Social Networks with Authoritative Nodes[J]. *Physica A* (S0378-4371), 2013, 392(1): 3846-3855.
- [14] Wang J, Zhao L, Huang R. 2SI2R Rumor Spreading Model in Homogeneous Networks[J]. *Physica A* (S0378-4371), 2014, 413(1): 153-161.
- [15] 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.  
Wang C, Chen C. Rumor Propagation Model Based on Complex Network[J]. *Systems Engineering- Theory & Practice*, 2012, 32(1): 203-210.
- [16] Moreno Y, Nekovee M, Vespignani A. Efficiency and Reliability of Epidemic Data Dissemination in Complex Networks[J]. *Physical Review E* (S1550-2376), 2004, 69(5): 055101.
- [17] Zanette D H. Critical Behavior of Propagation on Small-world Networks[J]. *Physical Review E* (S1550-2376), 2001, 64(5): 050901.
- [18] Li F. Are We Buddies- Evaluating the Impact of "Word-of-Mouth" on Competing Pricing Strategies[C]//. In Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Service Systems and Service Management. Guangzhou: IEEE, 2015: 1-5.
- [19] Watts D J, Strogatz SH. Collective Dynamics of 'Small-World' Networks[J]. *Nature* (S0028-0836). 1998, 393: 440-442.
- [20] Brin S, Page L. The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine[J]. *Computer Networks and ISDN Systems* (S0169-7552). 1998, 30(1-7): 107-117.