

6-4-2020

## Impact of 'Small World' Social Network of Consumers on Pricing Decision in Duopoly Market

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 'Small World' Social Network of Consumers on Pricing Decision in Duopoly Market

### Abstract

**Abstract:** Noticing the influences of friends on consumers purchasing decisions, *the impact of 'small world' social network on price competition in a duopoly hotelling model* was studied. A multi-agent based modeling approach was proposed to represent the consumers' decisions, which related to their connected friends in a social network, as well as the firms' pricing decisions. Simulation results reveal that the 'small world' social network has a significant impact on the competing firms' pricing decisions. In specific, *with the increasing number of consumers who are impacted by their friends, or the increasing likelihood of following friends' decisions, consumers then behave less rational. Both firms benefit from such bounded rationality and gain profits by raising their selling prices. In addition, one firm may benefit more than the other due to the network structure of the 'small world'. As a result, policies of sales effort investment are also different for the two competitors.*

### Keywords

hotelling model, small world network, consumer behavior, sale effort, multi-agent modeling and simulation

### Recommended Citation

Li Feng, Wei Ying. Impact of 'Small World' Social Network of Consumers on Pricing Decision in Duopoly Market[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(6): 1174-1185.

## 消费者小世界社会网络下双寡头产品定价策略

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:** 鉴于现实世界中消费者的购买决策普遍受到“朋友”的影响, 在 Hotelling 模型基础上, 研究当消费者之间的社会关系网络满足“小世界”特性时, 双寡头竞争下的产品定价策略。通过建立研究对象的多智能体模型, 仿真分析了需求方的小世界网络对供应方的产品定价问题的影响。仿真结果表明市场中受他人影响的消费者数量越多, 消费者受他人影响的程度越大, 即消费者非完全理性程度增大, 供应方能够通过抬高产品价格而获利。受到小世界网络结构的影响, 其中一个供应方具有明显的价格和利润优势。并且, 供应方的促销策略也因此有较大的差异。

**关键词:** Hotelling 模型; 小世界网络; 消费者行为; 销售努力; 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 (2017) 06-1174-12

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201706003

Impact of 'Small World' Social Network of Consumers  
on Pricing Decision in Duopoly MarketLi 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:** Noticing the influences of friends on consumers purchasing decisions, the impact of 'small world' social network on price competition in a duopoly hotelling model was studied. A multi-agent based modeling approach was proposed to represent the consumers' decisions, which related to their connected friends in a social network, as well as the firms' pricing decisions. Simulation results reveal that the 'small world' social network has a significant impact on the competing firms' pricing decisions. In specific, with the increasing number of consumers who are impacted by their friends, or the increasing likelihood of following friends' decisions, consumers then behave less rational. Both firms benefit from such bounded rationality and gain profits by raising their selling prices. In addition, one firm may benefit more than the other due to the network structure of the 'small world'. As a result, policies of sales effort investment are also different for the two competitors.

**Keywords:** hotelling model; small world network; consumer behavior; sale effort; multi-agent modeling and simulation

## 引言

Web 2.0 时代下, 以博客和微博为代表的社会



收稿日期: 2015-07-12 修回日期: 2016-01-03;  
基金项目: 国家自然科学基金(71171085, 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。

媒体的兴起颠覆了传统的信息扩散和信息获取方式。这主要体现在传统的“草根”用户并不仅仅扮演信息的“受众”角色, 而是主动参与到信息的扩散过程中, 即通过“转发”将信息传播到自己的朋友圈子。当传播的是产品相关信息时, 人们形象地将其传播的方式描述为“病毒”营销。另一方面, 信息的受众也更愿意接收和接受来自朋友的信息。以新浪官网发布的对新浪微博用户的调查数据(2013 年)

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

• 1174 •

为例, 35.83%的系统用户会对购买的产品进行评价; 而 81.77%的系统用户在购买产品时参考包括朋友在内他人的产品评价。因此, 研究用户的“朋友圈”/社会关系网络对其购买决策的影响具有非常重要的理论价值和现实意义。

本篇论文以一类具有代表性的“朋友圈”—小世界网络(small-world network)为研究对象, 分析当消费者的购买决策会在一定程度上受到其朋友的影响时, 市场需求的变化。进一步以经典的 Hotelling 模型为基础模型, 探讨这类受社会关系网络影响的消费者购买需求对双寡头竞争下的企业定价策略的影响。

## 1 研究现状

近些年, 针对新兴的社会媒体, 深入研究社会媒体对产品的需求、定价等运营策略的影响成为运营管理与社会学、计算机科学、市场学等多学科交叉研究的热点问题。鉴于消费者间社会关系网络的复杂性, 以及消费者间相互影响的决策偏好建模的复杂性, 当前相关的研究工作还处于初期和探索阶段。现有研究工作主要集中在 2 个方面: 1. 主要对社会媒体中社会关系的网络结构进行特性分析; 2. 集中在对社会关系网络中用户间影响力的相关因素分析。

具体来说, 对于社会关系的网络结构特性分析主要采用复杂网络中的特征指标来衡量具体社会关系的特性。例如, 文献[1]以国外的微博系统—Twitter 为对象, 指出了网络世界中的社会关系网络与现实世界中的社会关系网络有明显差异; 文献[2]以国内的新浪微博系统为对象, 计算了网络中节点的度、节点间距离、平均最短路径等指标, 并提出了一个网络结构模型; 文献[3]以新浪微博系统为对象, 分析了用户的粉丝数、关注数和微博数等三个指标的统计特征和分布特性; 文献[4]以新浪微博为例, 验证了中文社会关系网络的小世界特征; 文献[5-6]分别以 Twitter 和新浪博客为对象, 验证了其无标度特性; 文献[7]则以新闻类网站 Digg 和 Twitter 为对象, 发现了其中社会关系网络中的长尾

/厚尾分布(long-tailed distribution)特性。

对于社会关系网络中用户间影响力的研究, 主要包括对网络中最具有影响力的节点的模式识别, 和这种影响力在不同类型网络中扩散的仿真分析等。例如, 文献[8]以 Twitter 系统为对象, 提出了用于识别最具影响力节点/舆论意见领袖的评价指标体系; 文献[9]以节点的网络属性指标为基础数据, 采用多属性决策中的 TOPSIS 法去评价节点的影响力; 文献[10]分析了与节点影响力有关的属性, 如用户的年龄、性别、居住地等; 文献[11]指出社会关系网络中各种用户群的存在, 缩短了节点之间的距离, 从而加快了信息传播的速度; 文献[12]仿真了不同类型网络中, 关键节点对谣言传播的阻断能力; 文献[13]仿真了网络中正、负观点同时扩散的情景, 并指出最终网络的整体观点(正面/负面)与网络结构无关, 与每个节点对负面观点的容忍性有关; 文献[14]在经典的病毒传播 SIR 模型上分析了信息传播过程, 并对社会网络的结构和个体行为进行了分析。

但是, 少有工作采用定量的分析方法研究社会关系网络对企业策略的影响。一些探索性研究包括: 文献[15]采用实证研究的方法, 采用投资回报率指标来衡量用户在口碑营销中的影响力; 文献[16]分析了金融市场中, 社会关系网络中用户获取金融信息的成本问题; 文献[17]以 HP 公司网站为对象, 分析了公司直接发布产品促销信息与发动用户参与口碑营销两种营销方式的收益对比; 文献[18]分析了新产品扩散过程中, 用户的价值除了其购买产品带来的直接收益以外, 还包括其影响他人购买产品带来的间接收益; 文献[19]分析了用户的从众心理(“羊群效应”现象)对供应商产品定价问题的影响; 文献[20]采用多智能体仿真方法研究网上用户的决策偏好, 以及促销策略的效果。

本文在给定小世界社会关系网络特征下, 分析社会关系网络中用户之间的影响力对于消费者购买决策的影响。进一步, 以 Hotelling 模型为基准模型, 探讨这类消费者对于双寡头竞争的企业定价策略的影响。

## 2 多智能体仿真模型

### 2.1 问题描述

本文的基本问题模型为 Hotelling 模型，即市场中有两家供应商(供应商 A 和供应商 B)向消费者供应同质产品：由于供应的是相同的产品，且产品的供应量不受限制，供应商 A 和供应商 B 仅通过产品的价格展开市场竞争；两家供应商的位置给定，分别位于市场的两端(供应商 A 位于 0 点，供应商位于 1 点)；消费者在选择购买产品的供应商时，除了考虑两家供应商公布的产品售价以外，还需要考虑其到两家供应商的“距离”成本(单位距离成本为 1.0)。具体来说，模型中各参数含义如图 1 所示。

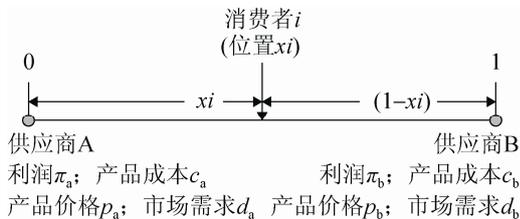


图 1 研究问题的基本模型  
Fig. 1 The model of the problem

模型中，市场中的每位消费者都有确定的 1 个单位的产品购买需求，且其位置  $x_i$  服从均匀分布，即  $x_i \sim \text{UNIFORM}(0,1)$ 。如果从供应商 A 处购买产品，第  $i$  位消费者的购买总成本为  $C_i(A) = x_i + p_a$ ，即购买产品的距离成本  $x_i$  与购买产品的购买成本  $p_a$  之和；如果其从供应商 B 处购买产品，则总成本为  $C_i(B) = (1-x_i) + p_b$ 。

在经典的 Hotelling 模型中，假定市场中所有消费者完全理性，并独立决策。并且，消费者确定性选择从总成本最低的供应商处购买产品，即  $\min\{C_i(A), C_i(B)\}$ 。因此，供应商 A 和供应商 B 的最优定价、利润和市场需求分别为：

$$\begin{cases} p_a^* = \frac{3+2c_a+c_b}{3} \\ \pi_a^* = \frac{(3-c_a+c_b)^2}{18} \\ d_a^* = \frac{3-c_a+c_b}{6} \end{cases} \quad \begin{cases} p_b^* = \frac{3+c_a+2c_b}{3} \\ \pi_b^* = \frac{(3+c_a-c_b)^2}{18} \\ d_b^* = \frac{3+c_a-c_b}{6} \end{cases} \quad (1)$$

本篇论文从消费者行为角度对此基本问题进

行扩展，即：假定市场中消费者并非完全理性，而是有限理性；消费者并非独立决策，而是会受到其他消费者购买决策的影响。具体来说，扩展后的市场消费者特征如下。

1) 市场中包含两种不同类型的消费者。其中，第一类消费者为“独立性”消费者，其人数占市场总人数的  $\alpha_i (0 \leq \alpha_i \leq 1)$ ；第二类消费者为“社会性”消费者，其占市场总人数的  $\alpha_s (= 1 - \alpha_i)$ 。

2) 市场中所有消费者为有限理性(“bounded rationality”)的消费者，并用离散选择函数(discrete-choice function)来描述其选择不同供应商的概率<sup>[21-22]</sup>。

3) “独立性”消费者决策时忽略其朋友的购买选择，仅以购买产品的总成本最少作为选择标准。此类消费者的决策模型为：

$$r_i(A) = 1 - \frac{\exp\left(\frac{C_i(A)}{\tau}\right)}{\exp\left(\frac{C_i(A)}{\tau}\right) + \exp\left(\frac{C_i(B)}{\tau}\right)} = \frac{\exp\left(\frac{C_i(B)}{\tau}\right)}{\exp\left(\frac{C_i(A)}{\tau}\right) + \exp\left(\frac{C_i(B)}{\tau}\right)} \quad (2)$$

$$r_i(B) = 1 - r_i(A)$$

式中： $r_i(A)$  和  $r_i(B)$  分别定义了“独立性”消费者从供应商 A 和供应商 B 处购买产品的概率。参数  $\tau (\tau > 0)$  表示顾客的理性程度：当  $\tau \rightarrow \infty$  时，则顾客的选择就为完全的随机选择，即顾客选择供应商 A 或供应商 B 的概率都为 50%；而当  $\tau \rightarrow 0$  时，则顾客的选择就为“完全理性”，即顾客将选择总成本函数小的那个供应商。

4) “社会性”消费者在选择供应商时，除了考虑其购买产品的总成本最少以外，还会参考其朋友的购买决策，即社会偏好。为了描述此类消费者的社会偏好，本文采用加权的形式进行综合，即定义消费者对购买总成本最少的偏好权重为  $\beta (0 \leq \beta \leq 1)$ ，对社会偏好的权重为  $1 - \beta$ ：

$$r_s(A) = \begin{cases} \beta \cdot r_i(A) + (1 - \beta) \cdot k_s(A), & n_s > 0 \\ r_i(A), & n_s = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$r_s(B) = 1 - r_s(A)$$

$$\begin{cases} k_s(A) = \frac{n_s(A)}{n_s} \\ k_s(B) = 1 - k_s(A) \\ n_s = n_s(A) + n_s(B) \end{cases}, [n_s > 0] \quad (4)$$

式中:  $r_s(A)$  和  $r_s(B)$  分别定义了“社会性”消费者从供应商 A 和供应商 B 处购买产品的概率。其中,  $r_i(A)$  由式(2)计算得到, 描述的是该消费者对购买总成本最少的偏好; 而  $k_s(A)$  和  $k_s(B)$  则用于描述该消费者的社会偏好: 该消费者在购买时, 其所有朋友中已经从供应商 A 处购买产品的朋友数量  $n_s(A)$ , 与已经从供应商 B 处购买产品的朋友数量  $n_s(B)$  的比率。

由式(3)的定义可以知道, 当“社会性”消费者的朋友们更倾向于从供应商 A 处购买产品时, 如果与其总成本最低的选择一致时, 即  $r_i(A) \leq k_s(A)$ , 消费者更“确信”自己的选择, 即  $r_s(A) \geq r_i(A)$ ; 反之, 如果朋友们的选择与其总成本最低的选择相背,  $r_i(A) > k_s(A)$ , 消费者将“怀疑”自己的选择, 即  $r_s(A) \leq r_i(A)$ 。例如, 假定一个消费者从总成本最低的角度选择供应商时, 其选择供应商 A 或供应商 B 的可能性为(50%, 50%)。如果该消费者的朋友 100%选择从供应商 A 处购买产品, 那么其选择供应商 A 的概率会  $>50%$  ( $r_s(A) = 0.50 \cdot \beta + 1.00 \cdot (1 - \beta) \geq 0.50$ )。同样, 当该消费者的朋友 100%选择从供应商 B 处购买产品, 那么其选择供应商 A 的概率会  $<50%$  ( $r_s(A) = 0.50 \cdot \beta + 0.00 \cdot (1 - \beta) \leq 0.50$ )。

5) 这两类消费者混合到达市场, 且到来的时间间隔服从负指数分布—泊松过程, 即  $EXPO(\lambda)$ 。

6) 最先到达市场的第 1 批消费者, 其购买决策时尚无有朋友购买产品, 即  $n_s = n_s(A) + n_s(B) = 0$ 。因此, 第 1 批到来的消费者, 无论是“独立性”还是“社会性”消费者, 其都将独立决策, 即  $r_s(A) = r_i(A), r_s(B) = r_i(B)$ 。

## 2.2 多智能体仿真模型

研究问题的多智能体建模主要是指分别建立四大类智能体, 即模拟供应商 A 决策行为的智能体(‘Supplier A’ Agent)、模拟供应商 B 决策行为的

智能体(‘Supplier B’ Agent), 市场中“独立性”消费者(‘Independent’ Customer Agent)和“社会性”消费者(‘Social’ Customer Agent)等。

根据上文所示的问题描述, “独立性”消费者根据公式(2)来确定从供应商 A 和供应商 B 处购买产品的概率, 并根据该概率最终决定购买产品的供应商; “社会性”消费者根据公式(3)来确定从供应商 A 和供应商 B 处购买产品的概率, 并根据该概率最终决定购买产品的供应商。

基于多智能体仿真的问题求解流程中, 供应商 A 和供应商 B 首先公布各自的产品价格  $p_a$  和  $p_b$ , 随后市场中两大类消费者顺序到来, 并做出自己的购买决策。接着, 供应商 A 和供应商 B 根据每位消费者的购买决策, 计算得到自己的市场需求和销售利润。最终, 供应商 A 和供应商 B 将根据各自的利润进行价格博弈, 得到研究问题的解。

由于有限理性消费者的决策模型中具有随机性因素, 因此相同参数设置下的智能体仿真必须重复多次, 以平均值作为仿真结果。设定市场中消费者的总数为  $N$ , 仿真重复次数为  $M$ , 详细的仿真流程伪代码如下所示。

```
Function HotellingSimulation( $c_a, c_b$ )
01 (Customer[N], SN) = BuildSocialNetwork(N);
02 FOR (i = 0; i < N; i++) {
03   Customer[i]. $x_i$  = randUNIF(0, 1);
04   IF ( $\alpha_i \geq$  randUNIF(0, 1))
05     Customer[i].type = Independent;
06   ELSE Customer[i].type = Social;
07 }
08 FOR ( $p_a$  = lowBound;  $p_a$  < upBound;  $p_a$  += step) {
09   FOR ( $p_b$  = lowBound;  $p_b$  < upBound;  $p_b$  +=
step) {
10     sumAProfit = 0, sumBProfit = 0;
11     FOR (i = 0; i < M; i++) {
12       (AProfit, BProfit) = simulation();
13       sumAProfit += AProfit;
14       sumBProfit += BProfit;
15     }
16     avgAProfit = sumAProfit / M;
```

```

17     avgBProfit = sumBProfit / M;
18     result () = ( avgAProfit,avgBProfit );
19 }
20 }
21 (  $p_a^*$ ,  $p_b^*$  ) = FindGameResult ( result ).

```

由于计算机仿真只能对一组定价策略进行评价,无法搜索出博弈解。因此如上所示,仿真将首先在区间 $[lowBound,upBound]$ 中以步长 $step$ 穷举所有的价格组合下供应商A和供应商B的利润值。然后,根据收益矩阵( $result$ )求得供应商A和供应商B的价格博弈解。

仿真流程中,单次仿真伪代码如下所示。市场中消费者的到来服从指数分布,即 $randEXPO(\lambda)$ 。当消费者选择从供应商A6处购买产品,那么供应商A将增加的利润 $p_a - c_a$ 。同样,当消费者选择从供应商B处购买产品,那么供应商B将增加的利润 $p_b - c_b$ 。所有的消费者都完成了购买决策后,供应商A和供应商B得到了各自的总利润值。

```

Function simulation ()
01 potentialCust = N;
02 firstIteration = TRUE;
03 index = 0;
04 WHILE ( potentialCust > 0 ){
05     incomingCust =
min( potentialCust,randEXPO( $\lambda$ ) );
06     potentialCust -= incomingCust;
07     FOR ( i = 0; i < incomingCust; i ++ ){
08         IF ( Customer[index].type == Independent )
09             Result = Customer[index].InDecision();
10         ELSE Result = Customer.SoDecision();
11         IF ( Result == Supplier-A )
supplierA.SaleOne();
12         ELSE supplierB.SaleOne();
13         index++;
14     }
15     firstIteration = FALSE;
16 }
17 RETURN ( supplierA.Profit , supplierB.Profit ).

```

### 3 仿真模型的验证

在前期工作基础上,本文以Java语言为编程语言,在J2SE 1.6编译环境下开发实现研究问题的多智能体仿真模型。并且,设定模型中市场上消费者总数 $N=10\ 000$ ,仿真重复次数 $M=120$ ;供应商A和供应商B的产品成本分别为 $c_a = c_b = 0$ ;有限理性消费者决策模型(2)中参数 $\tau = 0.10$ ;“社会性”消费者决策模型(3)中参数 $\beta = 0.40$ ;顾客到来的负指数分布参数 $\lambda = 500$ 。

#### 3.1 多智能体模型的验证

定义:市场中所有消费者均为“独立性”消费者,即 $\alpha_i = 1.00, \alpha_s = 0.00$ 。如果不考虑消费者的有限理性,由(1)可以得到此情境下研究问题的最优解为:

$$\begin{aligned} p_a^* &= 1.00, p_b^* = 1.00, \pi_a^* = 0.50, \pi_b^* = 0.50 \\ d_a^* &= 0.50, d_b^* = 0.50 \end{aligned} \quad (5)$$

因此,定义决策模型(2)中参数 $\tau = 0.10$ ,即模拟消费者“较为”理性;供应商A和供应商B的价格区间均为 $[0.00, 2.00]$ ,步长为0.05。图2给出了供应商双方价格的最优反应策略。

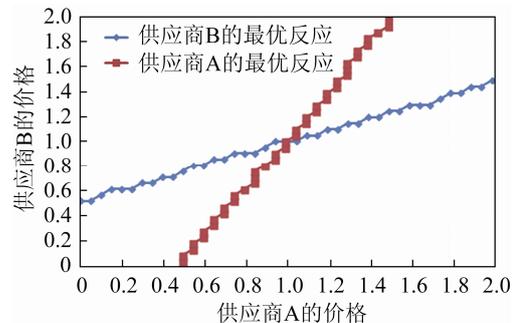


图2 供应商A和供应商B的最优反应  
Fig. 2 The best response of firm A and firm B

如图2所示,供应商A和供应商B的博弈均衡解为 $p_a^* = 1.00, p_b^* = 1.00$ 。并且,此时双方的需求分别为 $d_a^* = 5,025.95, d_b^* = 4,974.05$ ;双方获得的利润分别为 $\pi_a^* = 5,025.95, \pi_b^* = 4,974.05$ ,利润的置信度区间( $\alpha = 95\%$ )分别为 $[5\ 021.73, 5\ 030.17]$ 和 $[4\ 969.83, 4\ 978.27]$ ,即半宽为4.22。由于仿真中设置的市场中消费者总数 $N=10,000$ ,且

( $\tau = 0.10$ )  $\rightarrow 0$ , 可以认为仿真计算得到的利润和需求与理论值一致。

另外, 假定市场中消费者非常不理性, 即消费者随机选择供应商 A 和供应商 B 实施购买行为。在市场固定的假设条件下, 供应商 A 和供应商 B 的市场份额均为 50%。因此, 供应商 A 和供应商 B 的定价策略应该是价格越高越好, 即价格的上限值。因此, 分别设定决策模型(2)中参数  $\tau = 1.00$  和

$\tau = 10.00$ , 并设定供应商 A 和供应商 B 的价格区间均为 [1.20, 1.50], 步长为 0.05, 仿真得到数据如表 1 和表 2 所示。

结合表 1 和表 2 的数据可以知道, 供应商 A 和供应商 B 的博弈解为 (1.50, 1.50), 即仿真给定的价格上限。此仿真结果与分析结果一致。

综上所述, 可以认为本文所建立的多智能体仿真模型正确。

表 1 供应商 A 的最优反应数据表  
Tab. 1 The best response of firm A

$P_b$		1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50
$\tau = 1.00$	$p_a$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	$\pi_a$	6 462.40	6 635.80	6 812.06	6 965.57	7 135.66	7 318.21	7 485.40
	$\pi_b$	6 380.08	6 970.17	7 096.21	7 230.98	7 340.05	7 425.73	7 514.60
$\tau = 10.00$	$p_a$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	$\pi_a$	7 397.35	7 415.42	7 425.15	7 453.19	7 466.92	7 482.61	7 493.17
	$\pi_b$	6 082.12	6 320.48	6 564.87	6 792.13	7 030.87	7 266.81	7 506.83

表 2 供应商 B 的最优反应数据表  
Tab. 2 The best response of firm B

$p_a$		1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50
$\tau = 1.00$	$p_b$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	$\pi_a$	6 822.44	6 956.98	7 101.63	7 212.04	7 326.42	7 412.85	7 485.40
	$\pi_b$	6 471.95	6 651.62	6 805.81	6 986.26	7 150.26	7 331.54	7 514.60
$\tau = 10.00$	$p_b$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	$\pi_a$	6 095.29	6 332.23	6 566.27	6 804.83	7 026.90	7 245.60	7 493.17
	$\pi_b$	7 380.89	7 401.32	7 423.54	7 438.96	7 471.17	7 504.55	7 506.83

### 3.2 小世界网络的验证

小世界网络, 或者说网络的小世界特性, 是包括社会关系网络在内的众多实际网络的一个共同统计特性<sup>[23]</sup>。因此, 本篇论文应用复杂网络分析软件 Pajek 3.14(<http://pajek.imfm.si>)随机生成了一个 10 000 节点的小世界网络。其中, 参数如表 3 所示: 参数“节点单边的连接节点数量”定义了网络中所有节点的平均度指标为  $20(=10 \times 2)$ 。

将生成的小世界网络与相同节点数量的 E-R 随机网络(Erdos-Renyi random network)进行网络特征值的对比。表 4 给出了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 3 Pajek 软件生成小世界网络中的参数设置  
Tab. 3 Network configuration generated by Pajek

参数	设置值
Number of Vertices(节点数量)	10 000
Number of Linked Neighbors on each Side of a Vertex(节点单边的连接节点数量)	10
Replacement Probability(节点重连概率)	0.10

表 4 小世界网络与随机网络的网络特征对比  
Tab. 4 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	4.375 7	0.522 8
E-R 随机网络	3.074 5	0.002 0

从表 4 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,所生成的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。

## 4 基于仿真的问题求解

针对给定的社会关系网络,下面将采用多智能体仿真方法仿真消费者的决策过程,以及供应商的价格博弈。

### 4.1 基本问题的模型求解

定义图 2 所示仿真流程中供应商 A 和供应商 B 的价格区间([lowBound,upBound])均为[0.50,1.50],步长(step)为 0.05。下面给出了当市场中两类消费者各占一半,即  $\alpha_i = 0.50, \alpha_s = 0.50$  时,供应商 A 和供应商 B 博弈结果( $\beta = 0.40, \lambda = 500$ ):

$$\begin{aligned} p_a^* &= 1.30, p_b^* = 1.10 \\ \pi_a^* &= 6\,758.33, \pi_b^* = 5\,281.41 \\ d_a^* &= 5\,198.72, d_b^* = 4\,801.28 \end{aligned} \quad (6)$$

此结果表明:在给定的小世界社会网络环境下,当消费者之间存在相互影响时,供应商 A 和供应商 B 的产品定价明显要高于消费者不存在相互影响时的产品定价。

为对比供应商 A 和供应商 B 的产品定价策略,下面给出了当供应商 A 和供应商 B 的产品定价为  $p_a = 1.00, p_b = 1.00$  时,双方的市场需求和利润值:

$$\begin{aligned} \pi_a &= 6\,013.33, \pi_b = 3\,986.67 \\ d_a &= 6\,013.33, d_b = 3\,986.67 \end{aligned} \quad (7)$$

此结果表明:当消费者之间存在相互影响时,供应商 A 和供应商 B 的收益明显高于消费者不存在相互影响时的收益。这一结果与前人对于消费者行为分析的结果一致<sup>[19,21]</sup>。

并且,由 120 次仿真结果可以计算得到供应商 A 和供应商 B 利润值的置信区间( $\alpha = 95\%$ )分别为 [6 750.95, 6 766.13]和[5 274.81, 5 288.01],即半宽

分别为 7.802 9 和 6.602 5。

进一步分析单次仿真中第 1 期和第 2 期到来顾客的特性(见表 5),可以发现:如果不考虑社会关系网络的影响,第 1 期和第 2 期到来的顾客中,偏好供应商 A ( $p_i(A) > p_i(B)$ )的人数与偏好供应商 B ( $p_i(A) < p_i(B)$ )的人数大致相同,即  $(130+127) \approx 257 \approx 265 (=126+139)$ ,  $(119+123) \approx 242 \approx 241 (=132+109)$ 。但是,第 2 期供应商 A 的实际顾客人数要明显多于供应商 B 的实际顾客人数。这表明小世界社会关系网络对用户的购买选择产生显著影响。

### 4.2 仿真模型的参数分析

在上节中设置的参数基础上进行模型中主要参数的单参数变化分析,即设定模型中市场上消费者总数  $N=10\,000$ ,仿真重复次数  $M=120$ ;供应商 A 和供应商 B 的产品成本分别为  $c_a = c_b = 0$ ;有限理性消费者决策模型(2)中参数  $\tau = 0.10$ ;“社会性”消费者的偏好参数  $\beta = 0.40$ ;市场中第 2 类消费者的数量比率  $\alpha_s = 0.50$ ;顾客到来的负指数分布参数  $\lambda = 500$ 。

#### 4.2.1 市场中两类消费者比例的影响

参数  $\alpha_s$  代表了市场中“社会性”消费者占总人数的比率,  $\alpha_s$  值越大表示市场中有更多的消费者会受到社会关系网络(朋友)的影响。表 6 给出了不同  $\alpha_s$  值下供应商 A 和供应商 B 的博弈结果。

如表 6 所示:

1) 当市场中“社会性”消费者数量增加时,供应商 A 和供应商 B 制定的产品价格都将系统性的偏离(5)所示的价格值( $p_a^* = 1.00, p_b^* = 1.00$ ),并且双方利润都有明显增加;

2) 供应商如果忽视“社会性”消费者的存在,将价格定为  $(p_a, p_b) = (1.00, 1.00)$ ,供应商 A 和供应商 B 必定受到损失( $\pi_a^* > \pi_a, \pi_b^* > \pi_b$ );

3) 随着“社会性”消费者数量( $\alpha_s$  值)的增加,供应商 A 和供应商 B 的价格和利润差异化会逐渐增加(如图 3 所示),这表明给定的小世界社会关系网络本身有利于供应商 A。

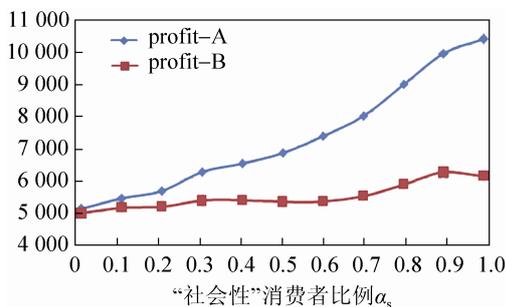
表 5 前 2 期到来顾客的统计信息  
Tab. 5 Statistical data of consumers in the first two periods

顾客到来	$p_i(A) > p_i(B)$		$p_i(A) < p_i(B)$		供应商 A 的 实际顾客	供应商 B 的 实际顾客
	“独立性”消费者	“社会性”消费者	“独立性”消费者	“社会性”消费者		
第 1 期	130	127	126	139	237	285
第 2 期	119	123	132	109	285	198

表 6 不同  $\alpha_s$  值下 Hotelling 博弈结果  
Tab. 6 Results for varying  $\alpha_s$  values

$\alpha_s$	博弈均衡解				$(p_a, p_b) = (1.00, 1.00)$			
	$p_a^*$	$p_b^*$	$d_a^*$	$d_b^*$	$\pi_a^*$	$\pi_b^*$	$\pi_a$	$\pi_b$
0.0	1.00	1.00	5 064.55	4 935.45	5 064.55	4 935.45	5 064.55	4 935.45
0.1	1.05	1.05	5 136.30	4 863.70	5 393.11	5 106.88	5 140.27	4 859.73
0.2	1.10	1.05	5 106.59	4 893.41	5 617.25	5 138.08	5 347.01	4 652.99
0.3	1.20	1.10	5 166.97	4 833.03	6 200.37	5 316.33	5 611.75	4 388.25
0.4	1.25	1.10	5 157.12	4 842.88	6 446.39	5 327.17	5 799.02	4 200.98
0.5	1.30	1.10	5 198.72	4 801.28	6 758.33	5 281.41	6 013.33	3 986.67
0.6	1.35	1.15	5 398.48	4 601.52	7 287.95	5 291.74	6 168.63	3 831.37
0.7	1.45	1.20	5 443.62	4 556.38	7 893.24	5 467.66	6,351.34	3 648.66
0.8	1.60	1.30	5 525.67	4 474.33	8 841.08	5 816.62	6 556.84	3 444.16
0.9	1.75	1.40	5 588.22	4 411.78	9 779.39	6 176.48	6 706.12	3 293.88
1.0	1.80	1.40	5 664.77	4 335.23	10 196.60	6 069.31	6 904.63	3 095.37

【注】灰色区域标注的是基本模型参数和仿真结果。

图 3 供应商利润随  $\alpha_s$  值的变化曲线  
Fig. 3 Firm profits for varying  $\alpha_s$ 

这表明: 当前市场中的消费者以及消费者间的小世界社会关系网络对供应商的定价策略以及利润产生显著影响。并且, 具体的小世界网络从整体上更有利于供应商 A。

#### 4.2.2 “社会性”消费者受朋友影响的程度

参数  $\beta$  代表了市场中“社会性”消费者受社会关系网络中其他消费者影响的程度,  $\beta$  值越小,  $1-\beta$  值越大, 则表示“社会性”消费者受到社会关系网络的影响越大。

表 7 给出了不同  $\beta$  值下供应商 A 和供应商 B

的博弈结果。

如表 7 所示:

1) 当市场中“社会性”消费者更加倾向于朋友的决策意见( $1-\beta$  值越大)时, 供应商 A 和供应商 B 的价格策略都将逐步偏离(5)所示的价格值 ( $p_a^* = 1.00, p_b^* = 1.00$ ), 并且双方利润都有明显增加;

2) 供应商如果忽视“社会性”消费者的决策偏好, 将价格定为  $(p_a, p_b) = (1.00, 1.00)$ , 供应商 A 和供应商 B 必定受到损失 ( $\pi_a^* > \pi_a, \pi_b^* > \pi_b$ );

3) 随着“社会性”消费者对朋友决策意见的重视, 供应商 A 和供应商 B 的价格和利润差异化会逐渐增加, 这表明给定的小世界社会关系网络本身有利于供应商 A。此结果与前面对“社会性”消费者比例的分析结果一致。

#### 4.2.3 每期顾客到来的平均数量

顾客到来的负指数分布参数  $\lambda$  定义了每期顾客到来的平均数。在市场中消费者总数不变的前提下, 不同的每期顾客平均数间接地体现了市场销售期的长短。当销售期越长, 顾客之间的相互影响可能更加明显; 而当销售期非常短的时候, 顾客之间

影响力就不明显。表 8 分别给出了不同  $\lambda$  值情景下的价格博弈结果。

从表 8 数据可以看出，

1) 当市场中消费者到来的越快( $\lambda$  值越大)，消费者之间的相互影响越小，供应商的定价策略越接近于  $(p_a, p_b) = (1.00, 1.00)$ ；消费者到来的越慢，供应商的产品价格就越高。

2) 当市场中消费者到来的越快( $\lambda$  值越大)，消费者之间的相互影响越小，供应商 A 的利润在下滑，而供应商 B 的利润则在上升。这表明，虽然当前的社会关系网络虽然整体有利于供应商 A，但是随着消费者之间的相互影响减少，这种优势被逐渐削减。

表 7 不同  $\beta$  值下 Hotelling 博弈结果  
Tab. 7 Results for varying  $\beta$  values

$\beta$	$1-\beta$	博弈均衡解				$(p_a, p_b) = (1.00, 1.00)$			
		$p_a^*$	$p_b^*$	$d_a^*$	$d_b^*$	$\pi_a^*$	$\pi_b^*$	$\pi_a$	$\pi_b$
0.0	1.0	2.00	1.50	6 118.83	3 881.17	12 237.67	5 821.75	7 441.95	2 558.05
0.1	0.9	2.00	1.50	5 759.69	4 240.31	11 519.38	6 360.46	7 205.69	2 794.31
0.2	0.8	1.85	1.45	5 710.55	4 289.45	10 564.52	6 219.70	6 969.36	3 030.64
0.3	0.7	1.65	1.30	5 546.53	4 453.47	9 151.76	5 789.52	6 727.87	3 272.13
0.4	0.6	1.45	1.20	5 591.02	4 408.98	8 106.97	5 290.78	6 493.20	3 506.80
0.5	0.5	1.40	1.20	5 480.87	4 519.13	7 673.21	5 422.96	6 255.02	3 744.98
0.6	0.4	1.30	1.10	5 198.72	4 801.28	6 758.33	5 281.41	6 013.33	3 986.67
0.7	0.3	1.20	1.10	5 344.47	4 655.53	6 413.36	5 121.08	5 778.64	4 221.36
0.8	0.2	1.15	1.05	5 084.88	4 915.12	5 847.62	5 160.87	5 536.95	4 463.05
0.9	0.1	1.05	1.00	5 061.77	4 938.23	5 314.86	4 938.23	5 304.07	4 695.98
1.0	0.0	1.00	1.00	5 064.55	4 935.45	5 064.55	4 935.45	5 064.55	4 935.45

【注】灰色区域标注的是基本模型参数和仿真结果。

表 8 不同  $\lambda$  值下的 Hotelling 博弈结果  
Tab. 8 Results for varying  $\lambda$  values

$\lambda$ 值	博弈均衡解				$(p_a, p_b) = (1.00, 1.00)$		$(p_a, p_b) = (1.30, 1.10)$			
	$p_a^*$	$p_b^*$	$d_a^*$	$d_b^*$	$\pi_a^*$	$\pi_b^*$	$\pi_a$	$\pi_b$		
250	1.35	1.20	5 633.22	4 366.78	7 604.84	5 240.14	6 037.64	3 962.36	7 323.18	5 251.84
500	1.30	1.10	5 198.72	4 801.28	6 758.33	5 281.41	6 013.33	3 986.67	6 758.33	5 281.41
1 000	1.25	1.10	5 350.91	4 649.09	6 688.64	5 114.00	5 968.57	4 031.43	6 683.91	5 344.38
1 500	1.25	1.10	5 289.16	4 710.84	6 611.48	5 181.92	5 920.28	4 079.72	6 602.38	5 413.36
2 000	1.25	1.10	5 231.12	4 768.88	6 538.91	5 245.76	5 867.93	4 132.07	6 533.28	5 471.84
2 500	1.20	1.10	5 388.39	4 611.61	6 466.07	5 072.77	5 816.78	4 183.22	6 444.03	5 547.35
5 000	1.15	1.05	5 122.71	4 877.29	5 891.11	5 121.15	5 570.46	4 429.54	6 064.59	5 868.42

【注】灰色区域标注的是基本模型参数和仿真结果。

### 4.3 仿真结果分析

给定一个小世界社会关系网络，通过系统仿真可以明确以下几点：

1) 当消费者的决策行为偏离“完全理性”，即理性的消费者，供应商能够从消费者的“非理性”购买行为获利。这一点与其它消费者行为因素分析的结论一致。并且，当市场中消费者之间的相互影

响更加明显( $\alpha_s$  值越大，或  $\beta$  值越小，或  $\lambda$  值越小)时，即消费者的非理性程度越高，供应商越能够通过抬高产品价格来获得更多利润。

2) 由于不同的小世界网络实例的差异，供应商 A 和供应商 B 的潜在顾客无法实现真正意义上的对称。因此，对于特定的小世界社会关系网络，两个供应商中的一个可能更具有优势，即能够从小世界网络中获得更多的利益。

## 5 小世界网络对供应商定价和收益的影响

为了检验小世界网络的网络特性对研究问题的影响, 本文也仿真了随机网络(Erdos-Renyi 随机网络)情景下的供应商定价策略。

相比于小世界网络, 随机网络中每个节点都随机(等概率)与其它节点相连。相比之下, 随机网络属于同质网络, 对称性更好<sup>[24]</sup>。由于对称性的缘故, 可以预期随机网络对于供应商 A 和供应商 B 而言都不会有明显的偏好。并且, 如表 3 所示, 随机网络的平均路径长度比小世界网络短, 且其平均聚类系数要小。

设定仿真中其它参数不变, 仅更换消费者之间的社会关系网络(由 Pajek 生成一个 10 000 节点的随机网络)。仿真结果如下:

$$\begin{aligned} p_a^* &= 1.05, p_b^* = 1.05 \\ d_a^* &= 5\ 010.86, d_b^* = 4\ 989.14 \\ \pi_a^* &= 5\ 261.40, \pi_b^* = 5\ 238.60 \end{aligned} \quad (8)$$

此结果中供应商获得基本相同的市场需求, 并制定了相同的产品价格。此结果与式(5)所示不考虑消费者之间的社会关系网络结果类似。

对比供应商将产品价格定为  $(p_a, p_b) = (1.00, 1.00)$  时的结果, 社会关系网络影响下的供应商能够获得更多的利润:

$$\begin{aligned} p_a &= 1.00, p_b = 1.00 \\ d_a &= 5\ 007.28, d_b = 4\ 992.72 \\ \pi_a &= 5\ 007.28, \pi_b = 4\ 992.72 \end{aligned} \quad (9)$$

对比式(6)给出的小世界社会关系网络仿真结果, 可以得出以下结论:

1) 无论是小世界还是随机网络, 消费者之间的社会关系网络对市场中供应商的定价策略有显著影响。此结论与之前对于消费者“非理性”决策分析结果一致。

2) 由于随机网络的同质性特征, 供应商 A 和供应商 B 的产品定价和利润相对一致。而小世界网络, 相比之下可能对其中一个供应商影响更大。

## 6 销售努力对产品定价问题的影响

由于前期到来的消费者会通过关系网络对后续到来的消费者产生影响, 因此本文也分析当供应商对最早到来的消费者产生直接影响(销售努力), 而这种影响通过关系网络(间接影响)放大后的最终结果<sup>[19]</sup>。

本文分别仿真了当供应商 A 或供应商 B 对第 1 期到来的消费者产生影响, 而这种影响下的供应商双方的产品定价和利润变化。以供应商 A 为例, 假定供应商 A 通过施加销售努力  $\theta$ , 对第 1 期到来的消费者产生影响, 即第 1 期消费者从供应商 B 处购买产品, 其购买总成本为  $C_i(B) = (1 - x_i) + p_b$ , 而从供应商 A 处购买产品其购买总成本减少为<sup>[19]</sup>:

$$C_i(A) = \begin{cases} x_i + p_a - \theta, & \theta \leq x_i + p_a \\ 0, & \theta > x_i + p_a \end{cases} \quad (10)$$

表 9 和表 10 给出了供应商 A 和供应商 B 不同销售努力  $\theta$  值影响下的仿真结果。

表 9 供应商 A 销售努力的 Hotelling 博弈结果  
Tab. 9 Results for varying sales efforts of firm A

销售努力 $\theta$	博弈均衡解					
	$p_a^*$	$p_b^*$	$d_a^*$	$d_b^*$	$\pi_a^*$	$\pi_b^*$
0.00	1.30	1.10	5 198.72	4 801.28	6 758.33	5 281.41
0.05	1.30	1.15	5 367.47	4 632.53	6 977.71	5 327.41
0.10	1.30	1.15	5 346.13	4 653.87	6 949.97	5 351.95
0.15	1.30	1.15	5 369.99	4 630.01	6 980.99	5 324.51
0.20	1.30	1.15	5 341.52	4 658.48	6 943.98	5 357.25
0.25	1.30	1.15	5 390.41	4 609.59	7 007.54	5 301.02

【注】灰色区域标注的是基本模型参数和仿真结果。

表 10 供应商 B 销售努力的 Hotelling 博弈结果  
Tab. 10 Results for varying sales efforts of firm B

销售努力 $\theta$	博弈均衡解					
	$p_a^*$	$p_b^*$	$d_a^*$	$d_b^*$	$\pi_a^*$	$\pi_b^*$
0.00	1.30	1.10	5 198.72	4 801.28	6 758.33	5 281.41
0.05	1.30	1.15	5 337.13	4 662.87	6 938.27	5 362.29
0.10	1.30	1.15	5 294.28	4 705.72	6 882.57	5 411.57
0.15	1.30	1.15	5 291.93	4 708.07	6 879.51	5 414.27
0.20	1.30	1.15	5 287.28	4 712.72	6 873.47	5 419.62
0.25	1.35	1.20	5 284.53	4 715.47	7 134.12	5 658.56
0.30	1.35	1.20	5 275.83	4 724.17	7 122.36	5 669.01

【注】灰色区域标注的是基本模型参数和仿真结果。

如表 9 所示, 供应商 A 通过销售努力能够提高公司的市场需求, 并增加产品利润 3.24% (= (6 977.71-6 758.33)/6 758.33)。但是, 相比于不同程度的销售努力, 最小的销售努力 ( $\theta = 0.05$ ) 效果最佳。

供应商 B 的情景与供应商 A 完全相反。从表 10 所示的数据可以看出, 供应商 B 施加较大的销售努力才能获得更加明显的效果。

以上仿真结果表明:

1) 在小世界社会网络中占据优势的企业(供应商 A), 只需要增加非常小的销售努力就能够取得很好的回报。相比之下, 其加大销售努力的边际效应逐渐下降。

2) 在小世界社会网络中处于劣势的企业(供应商 B), 需要实施较大的销售努力才能获得更加明显的收益。

3) 无论是供应商 A 还是供应商 B, 只要有一方单独施加销售努力, 双方都能够因此获益。这一结论与前面对于“社会性”消费者的比例 ( $\alpha_s$ )、 “社会性”消费者受朋友影响程度 ( $\beta$ ) 以及平均每期顾客到来的数量 ( $\lambda$ ) 一致。即当市场中消费者之间的相互影响更加明显, 消费者的“非理性”决策越普遍, 两个供应商都能够因此通过产品价格策略而获得更多的收益。

## 7 结论

本篇论文以市场中消费者间关系网络为研究对象, 侧重分析当这种关系网络表现为“小世界”

特性时, 产品供应商的运营策略和绩效。具体来说, 论文以 Hotelling 模型为基础模型, 采用多智能体建模方法建立能够再现消费者间小世界关系网络及消费者间影响的决策模型, 通过仿真分析关系网络对 Hotelling 模型博弈解的影响。仿真分析结果表明, 消费者之间的相互影响更大(即“社会性”消费者的比例越大, “社会性”消费者受朋友影响程度越大, 平均每期顾客到来的数量越小, 以及供应商施加销售努力), 供应商双方都能够通过提高产品价格而获利。而需要特别注意的是, 由于小世界网络的结构特性, 供应商的价格策略和获利程度有明显差别, 其实施销售努力的策略也不同。

## 参考文献:

- [1] Kwak H, Lee C, Park H, et al. What is Twitter, a Social Network or a News Media? [C]// Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web. USA: ACM, 2010: 591-600.
- [2] Yang D H, Yu G. Static analysis and exponential random graph modeling for micro-blog network [J]. Journal of Information Science (S0165-5515), 2014, 40(1): 3-14.
- [3] 苑卫国, 刘云, 程军军. 微博网络中用户特征量和增长率分布的研究 [J]. 计算机学报, 2014, 37(4): 767-778. (Yuan WG, Liu Y, Cheng J J. Research on the user characteristics and growth rates distribution in microblog [J]. Chinese Journal of Computers, 2014, 37(4): 767-778.)
- [4] Yan Q, Wu L, Zheng L. Social network based microblog user behavior analysis [J]. Physica A (S0378-4371), 2013, 392(7): 1712-1723.
- [5] Java A, Song X, Finin T, et al. Why We Twitter:

- Understanding Microblogging Usage and Communities [C]// Proceedings of International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. USA: ACM, 2007: 56-65.
- [6] Fu F, Liu L, Wang L. Empirical analysis of online social networks in the age of Web 2.0 [J]. *Physica A*, (S0378-4371), 2008, 387(2/3): 675-684.
- [7] Lerman K, Ghosh R. Information Contagion: an Empirical Study of the Spread of News on Digg and Twitter Social Networks [C]// Proceedings of the 4th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. USA: AAAI, 2010: 90-97.
- [8] Li F, Du T C. Listen to me- evaluating the influence of micro-blog [J]. *Decision Support Systems* (S0167-9236), 2014, 62: 119-130.
- [9] Du Y, Gao C, Hu Y, et al. A new method of identifying influential nodes in complex networks based on TOPSIS [J]. *Physica A* (S0378-4371), 2014, 399: 57-69.
- [10] Katona Z, Zubcsek P P, Sarvary M. Network effects and personal influences: the diffusion of an online social network [J]. *Journal of Marketing Research* (S0022-2437), 2011, 48(3): 425-443.
- [11] Fan W, Yeung K H, Wong K Y. Assembly effect of groups in online social networks [J]. *Physica A* (S0378-4371), 2013, 392(5): 1090-1099.
- [12] 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(17): 3846-3855.
- [13] Kurmyshev E, Juarez H A, Gonzalez-Silva R A. Dynamics of bounded confidence opinion in heterogeneous social networks: concord against partial antagonism [J]. *Physica A* (S0378-4371), 2011, 390(16): 2945-2955.
- [14] 李林, 孙军华. 基于社会网络冲突信息传播的群体特征 [J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(1): 207-214. (Li L, Sun J. Population characteristics based on conflict information spreading on social network [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2014, 34(1): 207-214.)
- [15] Kumar V, Bhaskaran V, Mirchandani R, et al. Creating a measurable social media marketing strategy: increasing the value and ROI of intangibles and tangibles for Hokey Pokey [J]. *Marketing Science* (S0732-2399), 2013, 32(2): 194-212.
- [16] Han B, Yang L. Social networks, information acquisition, and asset prices [J]. *Management Science* (S0732-2399), 2013, 59(6): 1444-1457.
- [17] Albuquerque P, Pavlidis P, Chatow U, et al. Evaluating promotional activities in an online two-sided market of user-generated content [J]. *Marketing Science* (S0732-2399), 2012, 31(3): 406-432.
- [18] Ho T H, Li S, Park S E, et al. Customer influence value and purchase acceleration in new product diffusion [J]. *Marketing Science* (S0732-2399), 2012, 31(2): 236-256.
- [19] Li F, Wei Y. An Intelligent Agent Simulation Model to Evaluate Herd Behavior and Sales Effort in a Duopoly Market [C]// Proceedings of 10th International Conference on Intelligent Computing. Germany: Springer International Publishing, 2014: 456-465.
- [20] 金淳, 董秋, 吕苗. 基于 Agent 的网站促销下消费者行为仿真研究 [J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(4): 845-853. (Jin C, Dong Q, Lv M. Agent-based simulation for consumer behavior under website promotion [J]. *Systems Engineering- Theory & Practice*, 2014, 34(4): 845-853.)
- [21] Wei Y, Li F. Impact of Heterogeneous Consumers on Pricing Decisions under Dual-Channel Competition [J]. *Mathematical Problems in Engineering* (S1024-123X), 2015: 1-9. DOI: 10.1155/2015/584084.
- [22] 李锋, 魏莹. 消费者理性程度对供应链定价影响的仿真研究 [J]. *系统仿真学报*, 2015, 27(12): 2898-2907. (Li F, Wei Y. Simulation research on impact of consumer bounded rationality on optimal pricing strategy in supply chain [J]. *Journal of System Simulation* (S1004-731X) 2015, 27(12): 2898-2907.)
- [23] Watts D J, Strogatz S H. Collective Dynamics of 'Small-World' Networks [J]. *Nature* (S0028-0836), 1998, 393: 440-442.
- [24] Moreno Y, Nekovee M, Pacheco A F. Dynamic of Rumor Spreading in Complex Networks [J]. *Physical Review E* (S1550-2376), 2004, 69(6): 066130.