

# 媒体舆论引导仿真

孙晓茜<sup>1,2</sup>, 林思明<sup>1</sup>, 刘悦<sup>1</sup>, 程学旗<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 计算技术研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100190)

**摘要:**使用 multi-Agent 的建模思想,以现实为基础建立了一个舆论涌现的仿真模型.该模型主要由个体和媒体以及它们之间的规则组成.个体的属性包括了个体之间的信任度、个体观点的可信度和个体的从众性;媒体的属性包括媒体的影响范围和权威度.规则包括个体交互规则和个体与媒体的交互规则.通过仿真证明了模型是合理的,并且用该模型来仿真媒体对舆论演化的引导作用,从媒体的数量和报道频率2个方面研究媒体在舆论形成过程中的引导作用,结果发现积极媒体的数量越多对舆论的引导作用越强,媒体的报道频率增加会对舆论的形成产生积极效果,但是超过一定次数时对舆论的影响作用有限.最后通过对模拟结果的分析,提出了通过媒体来引导舆论的方式.

**关键词:**舆论;媒体;多主体模拟;控制引导

**中图分类号:** TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2010)02-0106-06

## Simulating media's effect on public opinion through multi-Agent based interaction

SUN Xiao-qian<sup>1,2</sup>, LIN Si-ming<sup>1</sup>, LIU Yue<sup>1</sup>, CHENG Xue-qi<sup>1</sup>

(1. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** A dynamic model of opinion making in a multi-agent media system was developed. The model contained agents, media, and the rules for interaction between them. Agent attributes included values for the degree of trust between them, for credibility, and for conformity. Media attributes were influence and authority. The rules of interaction included agent rules as that allowed agent interactions with media. Simulation results proved that the model was reasonable. Increased frequency of reports had a positive effect on the formation of public opinion. Nevertheless, when a critical number of reports was exceeded, further influence became limited. Based on analysis of the outcome, the best way to guide the formation of opinions was proposed.

**Keywords:** public opinion; media; multi-agent simulation; control and guide

舆论是指在一定社会范围内多数人的集合意识及共同意见<sup>[1]</sup>.传统意义上的媒体是指媒介、手段,如新闻媒体.随着社会的发展、科技的进步,现在所说的媒体是指传播信息的介质.媒体分为报纸刊物、广播、电视、互联网、移动网络这五大媒体.在现实社会中,人们的消息来源于媒体和社交关系.

传统媒体和网络媒体相比缺少交互性,信息发

布之后不能及时地得到公众的意见.由于网络的开放性、自由性、匿名性和互动性,能够及时反映公众意见的同时又存在一些非理性、虚假的信息,导致很多错误信息的扩散缺乏控制,并且有些信息往往在短时间内对人们造成极大的影响.比如2003年非典型肺炎传播期间,互联网上传出了“政府要封锁北京”的谣言,导致市民哄抢商品,商贩哄抬物价,造成了物资短缺.由于没有对舆论进行很好的引导,有些谣言可能给社会带来巨大的经济损失.因此,如何减少错误信息对人们的影响以及如何将民众的意见

收稿日期:2010-01-05.

基金项目:国家高技术研究发展计划“863”基金资助项目(2007AA01Z834).

通信作者:孙晓茜. E-mail: sunxiaolian@software.ict.ac.cn.

引导向正确的方向,对于形成良好的舆论环境具有重要的意义.媒体不仅仅承担着发布信息的作用,还应该对舆论进行正确的引导,尽量减少负面信息的影响.

舆论演化研究一直是社会科学研究的课题.从20世纪50年代至今,对舆论演化的研究大体可以分为3个阶段:早期的舆论演化研究是用数学分析的方法;后来的研究结合了物理方法和计算机数值仿真的方法;20世纪90年代开始使用个体行为模型分析舆论的演化规律.

早期的舆论演化模型,如GM模型、CM模型、FJ模型、TV模型、Bounded confidence模型等<sup>[2]</sup>,是社会学家为了研究群体行为的复杂现象而提出的,并用数学方法证明了模型中人们的观点值何时达到一致,何时产生分歧.这些模型都是使用数学方法,基于对全局信息的掌握,然后通过矩阵的迭代计算,最后根据矩阵是否收敛来判断最后能否形成统一的舆论,这种方法的局限性是在数据量很大时很难得出结果.

后来,一些学者用物理学的方法结合计算机数值仿真来研究舆论传播.2002年,德国H. Rainer和K. Ulrich对上述的传统模型进行了数值仿真<sup>[2]</sup>. Galam的Majority Rule模型,将少数服从多数的规则应用到舆论演化的研究中,所有人采取占大多数的观点<sup>[3]</sup>.1999年D. H. Zanette使用物理学中实空间重整化群的技术和动力学方程来研究舆论演化<sup>[4]</sup>.2000年,波兰的Sznajd结合细胞自动机提出基于Ising模型的舆论演化模型<sup>[5]</sup>,在封闭的社区内,由微观个体间的简单交互规则涌现出社区的复杂现象,首次提出了用微观模型代替宏观模型研究舆论传播,之后又出现了大量对Sznajd模型的变形.中国科技大学的周涛等提出基于有向的小世界网络研究舆论的动态演化<sup>[6]</sup>.21世纪,随着计算机仿真技术的发展,multi-Agent的仿真思想逐渐应用到了社会科学的研究中.2005年,O. Kosuke利用细胞自动机的理论建立了2层的multi-Agent模型来仿真舆论的形成过程<sup>[7]</sup>,模型包括宏观层和微观层,宏观层起到协调员的作用,对微观层的交互进行控制.国防大学的胡晓峰、刘常昱等提出了非对称的影响函数,利用多主体方法研究战争危机下的舆论演化及小世界网络的舆论演化<sup>[8-10]</sup>.上述这些模型主要研究舆

论的形成,并没有考虑网络媒体和传统媒体对舆论影响的差别,也没有对舆论演化的时间做出限制,对媒体的数量和报道次数也没有做详细的分析.

## 1 媒体引导的多主体系统建模

根据社会心理学的研究<sup>[11]</sup>,人们的消息来源于媒体和社交关系.媒体的观点会很大程度地影响个体的观点.个体也会通过媒体表达自己的态度(如网络媒体博客、论坛等).舆论的形成过程是一个动态过程,个体通过与其他个体交流,不断改变自己的观点直到舆论涌现,如图1所示.

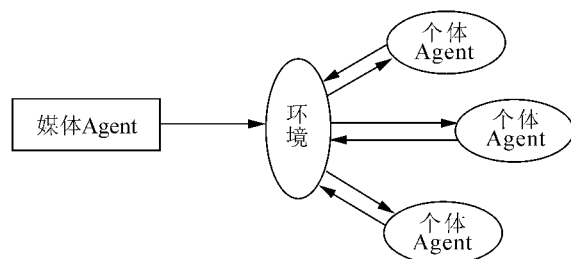


图1 系统构成及交互作用

Fig. 1 The components of opinion evolution system and their interactions

系统中,环境是媒体和个体共同存在的场所,媒体通过向环境发布信息来影响个体,个体与环境中临近的个体进行交互.

### 1.1 个体Agent描述

在舆论演化系统中,个体观点是一个基本信息,其值随着时间的演进动态改变.影响个体观点改变的因素有个体的性格和周围的环境.

一方面,由于不同个体的成长环境不同,造成了个体看待问题的态度不同.有的个体经过多方面考察之后才会形成自己的观点,并且不容易动摇;有的个体形成自己的观点之前,并不会经过深思熟虑,并且容易受别人的影响.在这里不妨把影响个体观点形成的因素抽象为观点的“可信度”(credibility)和个体的“从众性”(conformity).因此,一个个体 $A_i$ 的信息可以定义为如下形式:

$$A_i(O_i(t), C_i(t), R_i(t)). \quad (1)$$

式中: $O_i(t)$ 表示个体 $i$ 在时刻 $t$ 的观点或态度,在 $[0,1]$ 的连续区间中取值,0表示对事件强烈反对,1表示对事件非常赞同; $C_i(t)$ 表示个体 $i$ 在时刻 $t$ 的观点可信度,也就是个体有多少理由支持该观点,在连续区间 $[0,1]$ 中取值,0表示没有说服力,1表示

有很强的说服力; $R_i$ 表示个体的从众性,取值在连续区间 $[0,1]$ 内,0表示个体从不考虑其他个体的观点,始终坚持自己的观点,1表示个体没有主见,更多考虑其他个体的观点。

另一方面,观点改变的另一个因素是周围的环境,也就是周围人的意见。如果个体之间互相信任,那么彼此更容易互相影响。在现实中,人与人之间的信任程度不一样,所以在此引入一个不对称的信任矩阵 $Q(t)$ ,矩阵中的值 $q_{ij}(t)$ 表示个体 $i$ 对个体 $j$ 在时刻 $t$ 的信任度,取值为连续区间 $[0,1]$ 之间的数。0表示不信任,1表示非常信任,信任矩阵每行和为1,对角线为0。在每次交换意见后,相互的信任程度会有所变化。

通过以上2个方面,把个体 $i$ 对 $j$ 的影响函数定义为

$$f(i,j) = q_{ji}(t)R_j(1 - C_j(t)). \quad (2)$$

式(2)说明,个体观点的变化程度与自身的从众性成正比;与个体 $j$ 对个体 $i$ 的信任度成正比,与个体 $i$ 的观点的不可信度成正比。

## 1.2 媒体 Agent 描述

传统媒体对事件往往态度明确,并且有充分的事实依据,权威媒体的观点可信度较高。网络媒体的数量很多,权威程度和观点可信度各有不同。传统媒体的观点不会随时间变化而改变,媒体有一定的影响范围,也就是系统中有多大比例的人可以收到媒体发布的信息,每个媒体的影响范围各不相同。因此,一个媒体 $M_i$ 定义为

$$M_i(P_i, U_i, D_i, \alpha_i). \quad (3)$$

式中: $P_i$ 为媒体观点; $U_i \in [0,1]$ 为媒体观点的可信度; $D_i \in [0,1]$ 为媒体的权威度; $\alpha_i \in [0,1]$ 为媒体的影响范围,即系统中的个体以概率 $\alpha_i$ 接收到该媒体发出的信息。

媒体 $k$ 对个体 $j$ 的影响函数为

$$g(k,j) = D_k R_j(1 - C_j(t)). \quad (4)$$

式(4)表示媒体的权威度越大,对个体的影响就越大,这与实际情况相符合。

网络媒体与传统媒体相比,数量众多,大部分网站、BBS等权威度并不高,可信度也不高,观点并不统一也不固定,并且时时刻刻都在发挥着作用。在这个模型中,把网络媒体看成是普通的个体。

## 2 交互规则

### 2.1 Agent 之间的交互规则

在每个仿真时刻,个体会随机选择一个临近的个体与之交流观点。交流的过程是这样的:首先比较2个个体的观点差距,如果双方观点差距太大的话,认为意见不合,这时两者的值都不变。如果双方的观点差距不大的话,再比较双方的观点可信度,并且认为观点可信度越大的个体越容易说服别人。然后通过式(2)计算影响函数,观点可信度小的个体调整自己的观点和观点可信度,观点可信度大的个体不变。最后,改变两者之间的信任度。

定义个体 $i$ 和个体 $j$ 的交互规则为(I):

- 1)若 $C_i(t) > C_j(t)$ ,且 $|O_i(t) - O_j(t)| < \eta$ ,  
 $O_j(t+1) = O_j(t) + (O_i(t) - O_j(t))f(i,j)$ ,  
 $C_j(t+1) = C_j(t) + (C_i(t) - C_j(t))f(i,j)$ ,  
 $q_{ji}(t+1) = q_{ji}(t)(1 + Q_j(t)/Q_i(t))$ .
- 2)若 $C_j(t) > C_i(t)$ ,且 $|O_j(t) - O_i(t)| < \eta$ ,  
 $O_i(t+1) = O_i(t) + (O_j(t) - O_i(t))f(j,i)$ ,  
 $C_i(t+1) = C_i(t) + (C_j(t) - C_i(t))f(j,i)$ ,  
 $q_{ij}(t+1) = q_{ij}(t)(1 + O_i(t)/O_j(t))$ .

3)其他情况时,认为意见不合,个体的信息不改变。

式中: $O(t+1)$ 为个体在下一时刻的观点, $C(t+1)$ 为下一时刻的观点可信度, $q(t+1)$ 为下一时刻的信任矩阵。信任度发生变化后,调整信任矩阵,使矩阵中每行之和为1。

$\eta$ 的取值会影响最终舆论的收敛,由文献[2]中结果, $\eta$ 取值太小,舆论不会收敛, $\eta$ 取值太大,不符合实际情况,因此文中 $\eta$ 取0.2。

### 2.2 媒体和个体之间的交互规则

媒体 $k$ 在固定时刻向公众发布信息,个体 $j$ 以概率 $\alpha_k$ 接收到该信息,并且比较媒体的信息可信度和自己的观点可信度,如果个体 $j$ 的观点可信度低,则根据式(4)计算影响函数并改变个体 $j$ 的观点及观点可信度。

媒体 $k$ 发布信息时,个体会以概率 $\alpha_k$ 接收到信息( $N$ 为系统中个体总数),并且根据式(5)改变自己的观点值。

若 $U_k > C_j$ ,

$$O_j(t+1) = O_j(t) + (P_k - O_j(t))g(k,j),$$

$$C_j(t+1) = C_j(t) + (U_k - C_j(t))g(k, j). \quad (5)$$

### 3 模型仿真算法

图2给出了仿真算法的伪码描述.

```

输入: 个体Agent数n, 媒体Agent数N, 媒体信息和个体信息的取值范围, 结束时间
输出: 所有个体的观点
过程:
(1) initialize agents and media' information
(2) time=0
(3) WHILE(time<deadline)
(4)   IF(time!=media Time)
(5)     for each agent
(6)       Agent.chooseneighbor(j)
(7)       Agent.interaction(j)
(8)       undate all Agents' information
(9)   ELSE
(10)    media.broadcast()
(11)    update all Agents' information
(12)  time++
  
```

图2 舆论引导的仿真算法

Fig. 2 Algorithm of media guidance simulation

在每个仿真时刻,每个个体都同另一个体进行一次交互,同步更新所有个体的信息,直到仿真时间结束.如果到了媒体发布信息时刻,个体接收媒体发布的信息,并更新个体的信息.

### 4 仿真结果及分析

媒体对舆论演化的影响是不可忽视的,一般情况下,媒体对事件的态度、数量和报道频率对舆论的形成有很大的影响.媒体与个人相比,确定性较大.媒体的威信越高,就越容易使人们相信.

#### 4.1 无媒体参与的舆论形成模拟

在没有媒体加入时,设置个体数为200,观点值在 $[0, 1]$ 上均匀分布,可信度在 $[0, 1]$ 上均匀分布,人与人之间的信任程度相同,从众性在 $[0.7, 1]$ 取值.在以上假设下,通过仿真实验,从图3的结果中可以看到,人们的观点值逐渐趋近平均值0.5,在模拟步数达到20 000步时,87.5%的个体观点集中在区间 $[0.4, 0.6]$ 之间.随着时间的演进,最终观点值将会收敛到区间 $[0.4, 0.6]$ 上.也就是在上述初始条件时,舆论最终演化为大多数人保持中立.

当然,上述情况是一种理想情况,可以看成是群体通过协商,最终大多数的人意见达成一致的情况.

在现实社会中,总是会有一些比较固执的人,他们对自己的意见非常坚定,不易受到别人的影响,他们的观点值往往偏向于0或1.假设群体中有10%的个体观点分布在 $[0, 0.2]$ 区间,10%的个体观点

分布在 $[0.8, 1]$ 区间,60%的个体观点在 $[0.4, 0.6]$ 区间,其余的个体观点在 $[0, 1]$ 上均匀分布,人与人之间的信任度在 $[0, 1]$ 上均匀分布.所有个体的观点可信度在 $[0, 1]$ 上均匀分布.

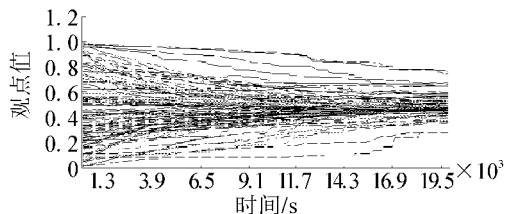


图3 中立观点涌现

Fig. 3 The emergence of neutral opinion

通过仿真结果发现,舆论涌现在3个区间内,一小部分人受到固执个体的影响,66%的个体观点变化不大,汇聚在0.5左右,如图4所示.大多数个体的观点并没有受到少数极端个体的影响,这与真实情况相符合,所谓“三人成虎”,几个人表达相同的观点要比一个人表达的同样观点更有说服力,所以几个人的观点不容易因为单个人的偏见而改变.

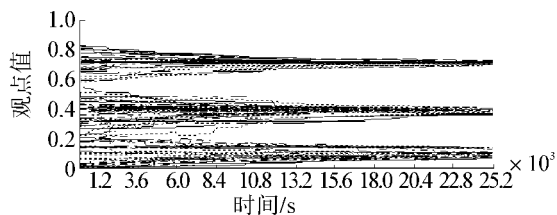


图4 分段观点涌现

Fig. 4 Fragmentation opinion

#### 4.2 媒体参与的舆论引导

在很多情况下,根据社会心理学的研究,由于人们的生活环境、文化程度,对很多事情在道德观念、价值观念、善恶区分上存在很多的相似的看法.也就是在很多时候,大多数人的初始看法是一致的,比如对某事的看法偏向于反对或是偏向于赞成.在大众的观点出现了偏向之后,如果此时在群体中存在一定数量影响力较大,且观点比较极端的个体,就会导致群情激愤,造成一定的社会影响.为了避免损失,在信息传播已经造成一定影响的情况下,单纯靠封堵不能解决问题时,应该利用媒体发挥正向引导作用,充分发挥各种积极媒体的作用.

假设群体中存在20%的固执个体,他们的观点值在 $[0, 0.2]$ 上均匀分布,从众性设为0,可信度在 $[0.8, 1]$ 上均匀分布;80%的个体为从众性较强的个体,从众性在 $[0.7, 1]$ 上取值,他们的观点值在 $[0, 0.8]$ 上取值,可信度在 $[0, 1]$ 上随机取值,群体的信任矩阵在 $[0, 1]$ 上随机取值,个体总数设为

200. 用 SWARM 进行模拟, 模拟步数为 40 000. 本文后面的所有实验的模拟步数都是 40 000, 因为在现实情况下, 事件的传播是有一定时效的, 在这里认为超出 40 000 步之后, 人们对该事件不再关心, 或是舆论不再受到控制. 考虑每种媒体的特点, 设置媒体的影响范围在  $[0.3, 0.7]$  上随机取值.

在仿真一开始, 分别加入 0、1、2 个积极媒体、报道频率为 1、媒体观点为 1、可信度在  $[0.8, 1]$  上随机取值. 从模拟结果可以看到 (图 5), 当媒体个数分别为 0 和 1 时, 平均观点一直在下降, 为 1 时下降速度变慢. 媒体个数为 2 时, 平均观点只在一开始的时候由 0.36 提高到 0.46, 之后的变化并不大, 在模拟时间内, 并没有把舆论引导向积极的方向. 通过增加报道的次数, 来增强宣传的力度, 尽量让越来越多的人了解到事件的真相和后续报道, 避免过激言论造成的社会影响. 图 6 中, 在仿真时间内报道次数为 20 时, 模拟结束后除了 20% 的固执个体的观点没有变化之外, 其他 80% 的个体的观点值都在 0.6 以上了.

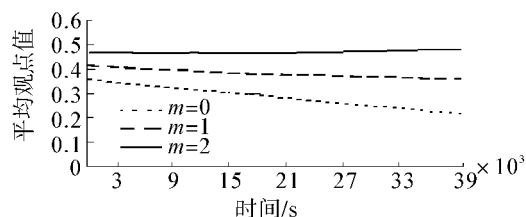


图 5 媒体数目对舆论的影响

Fig. 5 The number of media influence on public opinion

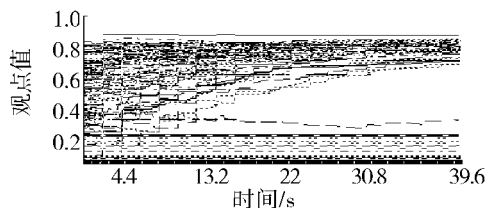


图 6 积极媒体的引导作用

Fig. 6 The guidance effect of positive media

当媒体个数为 2, 报道次数为 1、4、8、20 时, 从图 7 能够看出, 随着报道次数的增加, 舆论平均值也在不断地增加, 但是增加的速度越来越慢. 仿真结果证明对事件的多次报道可以增加人们的观点值, 但是, 报道达到一定次数之后对人们的观点值的影响会越来越少. 也就是说, 多次报道对改变人们的态度作用是有限的. 多次报道有助于增加人们的观点值, 媒体可以通过对事件进行跟踪报道来引导舆论演化. 但是, 如果媒体开始对事实进行报道时, 舆论值已经低到一定程度了, 积极媒体的引导不会起到预期的效果, 这时, 可能会产生舆论失控. 从图 7 中可

以看到, 虽然报道次数都是 20 次, 但是当初始的观点值为 0.3 时, 仿真结束时平均观点值才刚刚达到 0.4, 大众的观点值仍然偏低.

当系统中个体数目增加时, 由图 8 可以看到, 原来的媒体个数对舆论的引导作用已经不大了, 这时, 需要根据个体数目增加媒体的数目. 当个体数目达到 400 时, 媒体个数为 6 时才能与个体数目为 200 时 2 个媒体的引导作用相似. 这与实际情况相符合, 人越多时需要的积极媒体数量也就越多.

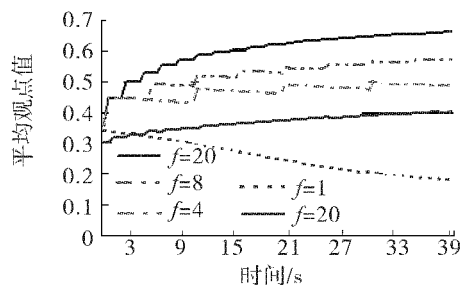


图 7 媒体引导次数对舆论的影响

Fig. 7 The frequency of media guidance influence on public opinion

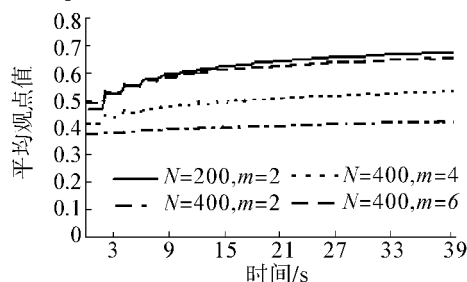


图 8 影响舆论演化的个体数量和媒体数量

Fig. 8 Number of Agents and media

以甲型 H1N1 流感为例, 最初疾病被称为“猪流感”, 造成了人们的误解和舆论的混乱. 当时在中国, 虽然还没有发现 H1N1 病例, 人们的反应是像非典时期一样, 人人自危、口罩脱销、药品断货、对猪肉的购买量大幅度减少, 对国内的养猪业造成了较大的冲击. 然后相关专家对“猪流感”的名称质疑, 随后改名为“甲型 H1N1 流感”, 政府提出疾病控制措施, 向公众普及 H1N1 的致病机理和防病常识, 并对疾病的发展做及时地报道, 消除公众的恐惧心理, 正确引导群众养成良好的卫生习惯, 减少不必要的恐慌, 增强群众自我防护意识和安全消费心理, 有利于将疾病的传播控制住.

传统主流媒体拥有最权威最全面的资讯, 在舆论从无序涌现为有序之前尽早对网络舆论以及公众舆论进行引导, 传统媒体和网络媒体相结合, 发布权威消息并且充分利用网络的快速交互的反馈, 对舆

论进行引导.通过及时的舆论反馈调整报道频率和报道内容,在舆论引导中掌握主动权.相反,如果信息公开不够及时,媒体没有及时发布权威信息,会导致谣言传播、舆论失控,失控之后就可能会对社会造成不可预计的影响.

## 5 结束语

运用了 multi-Agent 的建模思想,建立了一个在媒体引导下的舆论演化仿真模型.通过仿真,证明了模型是可行的,分析了媒体在舆论传播中的作用.本文分别从没有媒体引导时和有媒体引导时对舆论的形成过程进行仿真,对媒体的数量和报道频率进行分析,提出媒体引导舆论的方式:通过专家和专业组织在本领域内的权威性,对公众提出指导意见;传统强势媒体的权威和网络媒体的及时反馈相结合,尤其是权威媒体的引导要有时效性并保证信息的准确性.利用复杂系统理论,进一步完善舆论演化模型,研究负面媒体存在时,积极媒体的数量增长和大众数量增长的关系将是未来工作的重点.

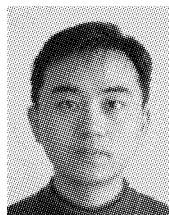
## 参考文献:

- [1] 刘建明. 社会舆论原理[M]. 北京:华夏出版社,2002:5.
- [2] RAINER H, ULRICH K. Opinion dynamics and bounded confidence models, analysis, and simulation[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2002, 3(5): 162-173.
- [3] GALAM S. Application of statistical physics to politics[J]. Physica A, 1999, 274:132-139.
- [4] ZANETTE D H. Globally coupled bistable elements as a model of group decision making[EB/OL]. [2009-01-15]. arXiv:adap-org/9905006 V1 18 1999.
- [5] KATARZYNA S W, SZNAID J. Opinion evolution in closed community[J]. International Journal of Modern Physics C, 2000,11(6): 1157-1165.
- [6] JIANG Luoluo, HUA Dayin, ZHU Junfeng, WANG Bing-Hong, ZHOU Tao. Opinion dynamics on directed small-world networks[J]. The European Physical Journal B, 2008(2):15-18.
- [7] KOSUKE O, MASATERU H, KOUICHI H. Multi-Agent based modeling and simulation of consensus formations in arguments[C]//Proceedings of the Third International Conference on Information Technology and Application(ICITA' 05). Sydney, Australia:2005:151-157.
- [8] 刘常昱,胡晓峰,司光亚,等. 舆论涌现模型研究[J]. 复杂系统与复杂性科学,2007,4(1):22-27.
- LIU Changyu, HU Xiaofeng, SI Guangya, et al. Study on the consensus emergency model[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2007, 4(1): 22-27.
- [9] 刘常昱,胡晓峰,罗 批,等. 基于不对称人际影响的舆论涌现模型研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(4): 990-996.
- xLIU Changyu, HU Xiaofeng, LUO Pi, et al. Study on consensus emergency model based on asymmetric personal relationship influence[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(4): 990-996.
- [10] 余永阳,张明智,刘常昱,等. 基于危机事件的舆情演化因素分析与建模研究[C]//第六届全国仿真器学术会议. 南京,2007: 93-96.
- YU Yongyang, ZHANG Mingzhi, LIU Changyu, et al. Factors analysis and modeling research of public opinion evolutionary model based on crisis events[C]//The Sixth National Conference on Emulator. Nanjing, 2007.
- [11] TAYLOR S E, PEPLAU L A, SEARS D O. 社会心理学[M]. 10版. 北京:北京大学出版社,2004: 155-162, 220-244.

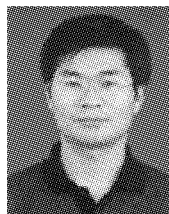
### 作者简介:



孙晓茜,女,1983年生,博士研究生,主要研究方向为系统仿真,社会计算.



林思明,男,1978年生,助理研究员,博士,主要研究方向为网络仿真、P2P及分布式计算.开发了NSME网络仿真器和Cool-fish流媒体播放器,发表学术论文多篇.



程学旗,男,1971年生,研究员,博士生导师,主要研究方向为网络科学与社会计算、互联网搜索与挖掘、网络信息安全、分布式系统与大型仿真平台等.曾获得第十一届茅以升北京青年科技奖、“中创软件”人才奖、中科院优秀青年学者奖、“九五”科技攻关先进个人、中科院科技进步二等奖、国家科技进步二等奖、中国科学院盈科优秀青年学者奖、中国科学院计算技术研究所所长奖教金、中国科学院研究生院优秀教师等荣誉.