

## 因特网舆情传播的协同元胞自动机模型

方薇<sup>1\*</sup>, 何留进<sup>2</sup>, 宋良图<sup>1</sup>

(1. 中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031; 2. 安徽省淮南市人民政府 信息化工作办公室, 安徽 淮南 232000)

(\* 通信作者电子邮箱 wfang@iim.ac.cn)

**摘要:** 现有的因特网舆情传播研究或者从话题文本增长—消亡过程的数学统计或智能学习出发, 或者采用元胞自动机或隐马尔可夫模型(HMM)分析主题倾向度的演化过程。但这些研究均缺乏有关舆情主体属性对因特网舆情传播影响的分析。基于因特网舆情空间的系统协同性, 首先计算元胞状态协同转移概率, 同时将整体协同转移概率与中心元胞之九邻居局域状态概率比较, 确定中心元胞状态是否转换。经过若干次时间序列的迭代计算, 获得舆情整体传播趋向“+”或“-”的程度(磁化率)。通过观察磁化率—时间变化曲线, 能清楚地了解舆情传播的演化。在此基础上, 提出一个扩展的协同元胞自动机模型及算法。仿真结果表明环境适应度参变量表达了网络舆情主体从众心理, 其变化影响磁化率向多数人意见靠拢; 而偏好参变量使网络舆情整体快速向“偏好”方向传播。该模型比较接近现实社会网络的舆情传播方式。

**关键词:** 网络舆情; 传播预测; 协同学; 元胞自动机; 计算机建模

**中图分类号:** TP181; TP393.094 **文献标志码:** A

### Synergistic cellular automata model for dissemination of Internet public opinion

FANG Wei<sup>1\*</sup>, HE Liu-jin<sup>2</sup>, SONG Liang-tu<sup>1</sup>

(1. Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei Anhui 230031, China;

2. Huainan Office of Information Application, Anhui Province, Huainan Anhui 232000, China)

**Abstract:** As for the present research on the dissemination of Internet Public Opinion (IPO), some research use mathematic statistics or intelligent learning to analyze the growing or descending process of a topic related text, and some use cellular automata or Hidden Markov Model (HMM) to find the tendency propagation of the subject of IPO. However, all of them lack the analyses of the impacts of the subject attributes in IPO on its tendency propagation. Based on the systematic synergy of IPO space, the synergistic transition probability between states on whole cells space of discussed IPO was computed firstly, and then it was compared with a local state probability in 9 neighbors of a central cell to decide whether the state of central cell should be converted. After several iterative operations, the degree (magnetisability) which expressed the tendency propagation upon to "+" or "-" was obtained. Through observing the magnetisability-time variable curve, one can clearly handle its evolution. Therefore, a new model and an algorithm of extensive synergistic cellular automata model were presented. The simulation results show that the order-variable parameters of society adaptability can express the subject's group psychology, and it goes towards the majority opinion. Similarly, the order-variable parameters of preference fast make tendency propagation close to the direction of preference, i. e. "+" or "-". The model is relatively closer to the real situation of dissemination of IPO.

**Key words:** network public sentiment; dissemination prediction; synergistic theory; cellular automata; computer modelling

## 0 引言

网络舆情研究中计算机建模方法日益受到重视。目前的研究大致集中在元胞自动机模型<sup>[1-4]</sup>、社会网络<sup>[5-6]</sup>或因特网概率统计模型<sup>[7]</sup>和隐马尔可夫模型<sup>[8-9]</sup>三个方面。文献[1]认为宏观的舆论模型正逐渐被基于局部个体空间相互作用的微观离散动力学模型所代替, 首次提出元胞自动机模型的设想。文献[2]首次提出元胞机与协同结合的思想。文献[3-4]采用元胞自动机研究局部和全局多数规则的影响, 其中文献[3]重点分析了中心元胞坚定度和邻域权重影响对传播的作用, 总结了传播时间序列变化的一些有意义的现象。文献[5]依据网络中节点连接度相互影响, 得出连接度多的

节点对节点黑白状态转换的贡献更大的结论。文献[6]扩展了文献[5]中的舆论信息观点, 考虑了网络中个体受其邻居影响的概率, 即对于某一观点, 不同个体受他人影响的概率是不同的。文献[7-9]均研究舆情传播中某个话题从产生、发展到减少、消亡过程的关注度的数学统计表达, 其中文献[7]从数学统计(方差、期望值等)值分析, 文献[8-9]采用隐马尔可夫模型, 由前期事件学习训练获取未来走向的预测。

因特网舆情传播预测是个十分复杂的问题, 由于它的开放性, 一方面不断有新的信息或知识从外部进入舆情空间内部, 另一方面其内部演化过程中需要考虑网民心理偏好、社会环境压力等因素的影响。文献[10]指出复杂系统指“大量相互作用的小单元构成的大系统。这些小单元的相互作用及集

收稿日期: 2011-08-09; 修回日期: 2011-09-20。

基金项目: 国家 863 计划项目(2006AA10Z23702); 2009 年度安徽省信息产业发展专项基金资助项目(财建【2009】722 号)。

作者简介: 方薇(1977-), 女, 安徽合肥人, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 计算机信息获取与处理、复杂系统; 何留进(1962-), 男, 安徽淮南人, 高级工程师, 主要研究方向: 信息化管理; 宋良图(1963-), 男, 安徽霍山人, 研究员, 博士, 主要研究方向: 信息获取、复杂系统仿真与控制。

体效应在大系统中产生那些各小单元的简单相加所不能具有的功能”。由此,因特网舆情系统具有复杂系统的主要特征。

本文扩充了文献[2]的设计,提出了一个扩展的协同元胞自动机模型及算法,进行了编程和仿真实验,并将仿真结果与文献[2-3]的结果进行比较。

## 1 基于协同学的元胞自动机

### 1.1 协同学在舆情传播中的应用

元胞自动机模型从各个小单元出发研究其相互作用的规律和结果,这种研究方法侧重于小单元邻域内的影响,虽然利用邻域扩充和中心元胞全局漫游可以对全局加大影响,但是如文献[1]表明,该模型表达的传播过程比较漫长,而且带有浓烈的多数意见的影响。

协同学是一个跨学科的研究领域,由德国理论物理学家 Haken<sup>[10]</sup>于 1969 年创立。“协同”二字在相变中的含义是:子系统关联引起的协同作用使得整个系统从无序变为有序——出现了序参量,序参量表达大量子系统集体运动的宏观整体模式有序程度。它有双重作用,一方面告诉各子系统如何行动,另一方面使观察者了解系统宏观有序的情形。进一步发展,序参量之间的合作和竞争最终导致了只有少数序参量支配系统达到更高层次上的协同。

网络舆情传播遵循复杂系统理论,哈肯(Haken)提出了序参量作用下舆情传播概率计算公式<sup>[10]</sup>如下:

$$P_{(+1 \rightarrow -1)} = v \cdot \exp(- (kq + h)) \quad (1)$$

$$P_{(-1 \rightarrow +1)} = v \cdot \exp(kq + h) \quad (2)$$

其中:  $P_{(+1 \rightarrow -1)}$  表示舆情由正向朝负向的转移概率,  $P_{(-1 \rightarrow +1)}$  表示舆情由负向朝正向的转移概率;  $v$  定义为初始自转率;  $k$  定义为环境适应度(受多数意见和社会压力的心理倾向);  $q$  定义为舆情不平衡度,取  $q = (n_+ - n_-) / 2n$ ,其中  $n_+$  表示持正向意见人数,  $n_-$  表示持负向意见人数,总人数  $n = n_+ + n_-$ ;  $h$  定义为偏好度(即对正向意见的偏好性)。

式(1)(2)中  $v, k, h$  为序参量,序参量的大小体现着协同作用的强弱。

文献[2]对式(1)(2)做如下变换,因为将它们各乘上一个常数不会改变公式中的概率分布,为了容易进行模拟,将整体状态的协同转移概率改写为:

$$P_{(+1 \rightarrow -1)} = v \cdot \frac{\exp(- (kq + h))}{\exp(k/2)} \quad (3)$$

$$P_{(-1 \rightarrow +1)} = v \cdot \frac{\exp(kq + h)}{\exp(k/2)} \quad (4)$$

### 1.2 扩展的元胞自动机协同模型与算法

元胞自动机被定义在一个具有离散、有限状态的元胞组成的元胞空间上,并按照一定局部规则,在离散的时间维上演化的动力学系统。它最基本的组成部分包括元胞(cell)、元胞空间(lattice)、邻居(neighbor)及演变规则(rule)。

#### 1.2.1 元胞形态

每个元胞代表一个舆情主体。定义每个主体具有 2 种倾向性态度,  $A = \{ \text{赞同}, \text{反对} \}$ ,元胞值表达为  $A = \{ 1, -1 \}$ 。

#### 1.2.2 元胞空间

在互联网上描述为舆情虚拟空间。与文献[3]相同,本项目仿真实验中取元胞空间  $N$  为一个 2 维的  $19 \times 19$  正方形网格结构,并随机分布各个元胞倾向度。同时,定义网络空间的边界条件是周期型的,周期型边界条件是指相对边界互相连

接。对于二维空间,上下相接,左右相接。

#### 1.2.3 邻域与状态转换规则

在因特网上,每个网络舆情主体既能接受该元胞空间中每一个元胞倾向性态度的影响,同时其他元胞也会接受它的影响。一般来说舆情主体对于近邻的意见比较敏感,同时也是为了计算方便,选择每个元胞的一定大小邻域作为状态转换影响近邻。

文献[2]在将协同作为元胞自动机元胞状态转换的规则中,提出了一个元胞自动机哈肯协同舆论模型,在更新的每一步中,随机抽取系统中的一个格子,以这个格子为中心的五邻居组成一个小组。当持 +1 状态的格子的改变概率  $P_{(+1 \rightarrow -1)}$  大于产生的随机数时,其状态从 +1 改变为 -1,否则保持为 +1;当持 -1 状态的格子的改变概率  $P_{(-1 \rightarrow +1)}$  大于随机数时,格子状态从 -1 改变为 +1,否则保持为 -1 状态。我们认为协同的最大优点在于系统整体复杂性的引入,上述五邻居协同范围太小,不足以表达整个元胞空间的复杂程度。因而作出以下扩充和改进:1) 协同公式中转移概率由整个讨论的元胞空间获得;2) 由于网络舆情邻居相互影响范围大,有必要将邻居个数加以扩充,延伸作者在文献[3]中对于邻域大小的选择,将文献[2]采用的五邻居扩展成本文采用的九邻居。状态转换算法的核心是将元胞全局协同转移概率与元胞九邻域局部状态概率做比较后,决定中心元胞现有状态是否需要转换。同时,采用左右边缘折叠或上下边缘折叠相连来获取处于空间边缘元胞的邻域,对于元胞空间所代表的虚拟空间来说是合理的。

元胞自动机的设计详见文献[3],现概述如下。

元胞空间组织如图 1(仿真实验中选为  $19 \times 19$ ,图中只画了一部分)。任选一个中心元胞  $A$ ,其八邻域用 1~8 表示。具体做法是由元胞空间计算获得的状态转移概率  $P_{(+1 \rightarrow -1)}$ ,  $P_{(-1 \rightarrow +1)}$  与每一个中心元胞九邻域(包括中心元胞自身)的状态(赞同、反对)概率比较,当该九邻域局部区域状态概率小于整体状态转移概率时,中心元胞状态反转,否则不变。然后,通过对元胞空间的遍历和整体协同的时间序列递归来实现舆情传播全局和局部的协调。

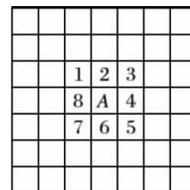


图 1 一个元胞空间  $N$  及邻域

#### 1.2.4 算法模型

##### 1) 相关定义。

a) 磁化率  $M(t)$  表示网络舆情空间主体的总体倾向状态趋向 +1(正极)或 -1(负极)的程度。

$$M(t) = 2p_{+1}(t) - 1 \quad (5)$$

$$p_{+1} = n_+ / n \quad (6)$$

##### b) 九邻域局部状态概率。

$A_+$  为当前元胞九邻域中 +1 个数为  $m_{loc}$  的概率:

$$A_+ = m_{loc} / 9 \quad (7)$$

$A_-$  为当前元胞九邻域中 -1 个数为  $j_{loc}$  的概率:

$$A_- = j_{loc} / 9 \quad (8)$$

##### 2) 算法实现。

假设:

a)  $n$  为参与论坛舆情传播的主体个数,即本文讨论的网络舆情空间元胞个数。

b) 在此空间内随机分布格子状态值  $(+1)$  代表赞同者,  $(-1)$  代表反对者,并使其初始分布概率为  $p_{+1}(t_0)$   $p_{-1}(t_0)$ , 于是  $n_+(t_0) = n * p_{+1}(t_0)$   $n_-(t_0) = n - n_+(t_0)$ 。

c) 设定自转率  $V_0$ 。

d) 初始  $q(t_0)$  表示网络舆情不平衡程度:  $q(t_0) = (n_+(t_0) - n_-(t_0)) / 2n_0$ 。

e) 初始磁化率:  $M(t_0) = 2p_{+1}(t_0) - 1$ 。

3) 序参量的变化。

对于下列两种情况分别予以计算:

a) 指定偏好度  $h = 0$  不变,改变环境适应度  $k = 0, 1, 2, 4, 8$ ;

b) 指定环境适应度  $k = 2$  不变,改变偏好度  $h = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ 。

传播循环计算如下:

Do  $t = 1$  to 100 //  $t$  为传播循环次数  $t = 0$  为初始分布时刻  
利用式 (3) (4) 分别计算元胞空间  $N$  的整体协同状态转移概率值:

$$P_{(+1 \rightarrow -1)} |_{t} P_{(-1 \rightarrow +1)} |_{t}$$

遍历元胞空间:

Do  $m = 1$  to  $n$

利用式 (7) (8) 计算九邻域局部状态概率值:

$A_+, A_-$

If (中心元胞值  $value(m) = +1$ ) then

If ( $p_{(+1 \rightarrow -1)} |_{t} \geq A_-$ )

then (将中心元胞值  $value(m)$  置为  $-1$ )

else (保留原值不变)

End

End

If (中心元胞值  $value(m) = -1$ ) then

If ( $p_{(-1 \rightarrow +1)} |_{t} \geq A_+$ )

then (将当前元胞值  $value(m)$  置为  $+1$ )

else (保留原值不变)

End

End

End

$$\text{遍历一次后的磁化率 } M(t) = (1/m) \sum_{i=1}^m value(i)$$

Update  $n_+(t)$   $n_-(t)$   $q(t)$

While  $M(t) - M(t-1) < 0.0005$  //循环终止

End

### 1.3 仿真结果

共做 4 组仿真实验,均设定  $n = 361$ ,自转率  $V_0 = 0.5$  结果如图 2 ~ 4 所示。其中:第 1、2 组仿真是在初始概率分布  $p_{+1}(t_0) = 0.65$   $p_{-1}(t_0) = 0.35$ ,即初始磁化率  $M(t_0) = 0.3019$  下进行,当参变量  $h = 0$   $k = 0, 1, 2, 4, 8$  时,按照上节算法求得磁化率,其结果见图 2;当参变量  $k = 2$   $h = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$  时得到的磁化率数据见图 4。第 3、4 组仿真是在初始概率分布  $p_{+1}(t_0) = 0.35$   $p_{-1}(t_0) = 0.65$  即初始磁化率  $M(t_0) = -0.3019$  下进行,运算结果如图 3、5 表示。图 3 参变量变化范围与图 2 相同,图 5 参变量变化范围与图 4 相同。在仿真时初始概率可以随机决定,本项目第 1、2 组选择  $(+1)$  数量占 65%,  $(-1)$  数量占 35%;第 3、4 组则选择  $(+1)$  数量占 35%,  $(-1)$  数量占 65%。

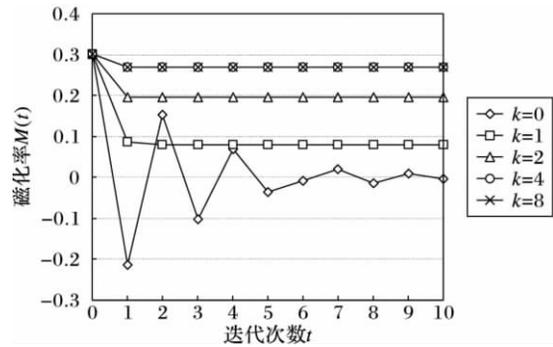


图 2  $h = 0$   $k$  取不同值时磁化率曲线  
( $p_{+1}(t_0) = 0.65$ ,  $p_{-1}(t_0) = 0.35$ )

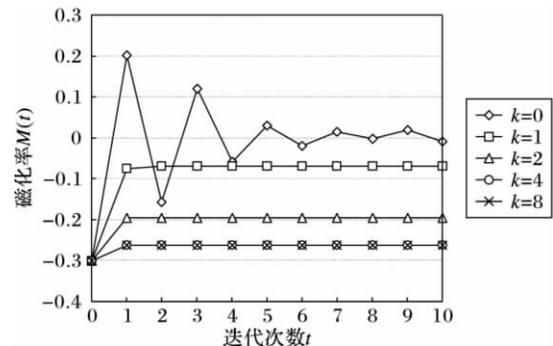


图 3  $h = 0$   $k$  取不同值时磁化率曲线  
( $p_{+1}(t_0) = 0.35$ ,  $p_{-1}(t_0) = 0.65$ )

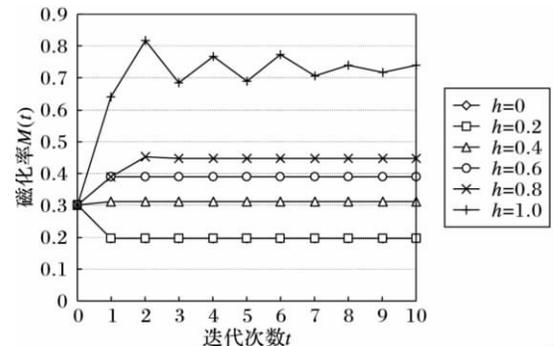


图 4  $k = 2$   $h$  取不同值时磁化率曲线  
( $p_{+1}(t_0) = 0.65$ ,  $p_{-1}(t_0) = 0.35$ )

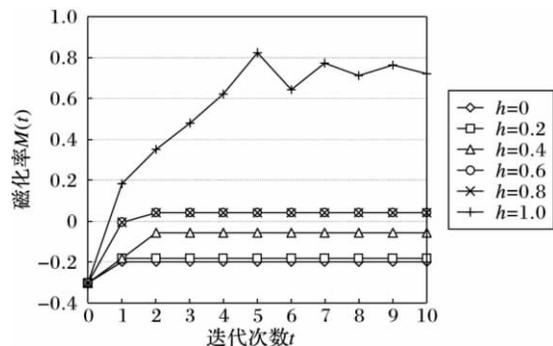


图 5  $k = 2$   $h$  取不同值时磁化率曲线  
( $p_{+1}(t_0) = 0.35$ ,  $p_{-1}(t_0) = 0.65$ )

## 2 元胞自动机模型间的仿真结果分析

### 2.1 本文方法与文献[2]方法比较

文献[2]仿真中,无论环境适应度  $k$  如何变化,不管初始分布为正向意见占多数或负向意见占多数,最终正负意见人数趋于相同,即磁化率为 0。本文方法结果见图 2 和 3,在  $k$  较小时与文献[2]结果相仿,但在  $k$  增大时最终演化向多数人意见

见靠拢,即多数的意见部分地体现了舆情环境压力。文献[2]仿真中,当 $h = 0$ 和 $h = 0.1$ 时,磁化率约为0; $h = 0.3$ 和 $h = 0.5$ 时,磁化率约为0.34;随着倾向性参数增大到1,磁化率最终达到0.6,即约为80%的人员采取了赞同态度。本文方法结果见图4、图5,在偏好度 $h$ 较小时如 $h = 0$ 和 $h = 0.2$ ,磁化率约为0.2(初始磁化率为0.3019时)或 $-0.2$ (初始磁化率为 $-0.3019$ 时); $h = 0.4$ ,磁化率约为0.31(初始磁化率为0.3019)或 $-0.06$ (初始磁化率为 $-0.3019$ )。增大到1.0,磁化率最终达到0.7,即约为85%的人员采取赞同态度。本方法体现了 $h$ 值的非线性效果,即 $h$ 较小时对系统影响较小; $h$ 大时对系统的影响迅速放大,且随时间演化过程波动较为明显。总体来说结果比较合理。

### 2.2 本文方法与多数规则元胞机方法比较

多数规则元胞机<sup>[3]</sup>的仿真结果说明,传播演化最终趋向多数人意见,除中立意见得以一定程度保留外,少数派意见人数几乎归零。在现实世界很少能达到如此高度统一。本文协同元胞机的传播演化与序参数的大小密切相关:当序参数 $k = 0$ 时,正反意见人数趋同;当 $k$ 增大时,趋向多数人的意见。 $h$ 值小( $\leq 0.4$ )时,接近初始分布,但取正向意见人数在增加; $h$ 继续增大时,迅速趋向正向分布,但持相反意见仍然占有一定比例,如图4.5所示尚有约15%。

### 2.3 仿真结果分析

图2.3的曲线表明 $k = 0$ 、 $h = 0$ 时由式(3)(4)计算获 $p_{(+1 \rightarrow -1)} = 0.5$ 和 $p_{(-1 \rightarrow +1)} = 0.5$ ,即正负状态转移概率相同。如在实验中初始分布元胞空间格子值 $+1, -1$ 按0.65:0.35比例随机分布,传播开始时,大多数中心元胞值为 $+1$ 的九邻域局部状态概率 $A_-$ 小于0.5,因而该中心元胞值转为 $-1$ ,使得总体状态向负向反转;随后,下一循环计算时因 $A_+$ 小于0.5元胞状态又会向正向反转,出现图2.3曲线震荡情形,震荡幅度随时间变化较小,最终收敛于正负平衡状态。由此得出,不计 $k, h$ 影响的协同系统,只与初始自转率有关,该系统会产生震荡,趋向稳定的过程长,实际中应该避免此种现象发生。

$k$ 值增大时,环境影响使得网络舆情主体从众心理加大,从初始分布出发,逐步向多数意见的状态聚拢,但最终不会超过初始分布时的状态概率。

图4.5的曲线表明 $h$ 值由0至1增大时,不管初始分布是趋向“正向”或“负向”,偏好 $h$ 使网络舆情整体向“正向”态度聚拢。 $h$ 越大,向正向转移的概率越大,负向转移概率越小。当初始正向状态个数多于负向状态个数时,在 $h > 0.3$ 后,正向状态个数增加超过原有个数,并收敛于一个值;当初始负向状态个数多于正向时,在 $h > 0$ 后,正向状态个数就增加超过原有个数,并收敛于一个值。

当 $h = 1$ ( $k = 2$ 时)且初始分布 $M(t_0) = 0.30$ 时,从数值计算获 $p_{(+1 \rightarrow -1)} = 0.05$ 和 $p_{(-1 \rightarrow +1)} = 0.37$ ,格子值为 $+1$ 的多数元胞不满足 $(p_{(+1 \rightarrow -1)})_{it} \geq A_-$ 而状态不会变化,而格子值为 $-1$ 的元胞状态因满足 $(p_{(-1 \rightarrow +1)})_{it} \geq A_-$ 而大多会反转为 $+1$ ,使图4曲线迅速上升,但在2个周期后,一些元胞九邻域局部状态概率 $A_- = 0$ ,满足 $(p_{(+1 \rightarrow -1)})_{it} \geq A_-$ 条件, $+1$ 的元胞状态又会返回 $-1$ ,因此出现震荡,协同作用的结果收敛于磁化率0.73附近。

网络舆情开始几次传播变化比较剧烈,需加以注意。同时密切关注偏好度影响起的“正向”放大作用,它与环境压力协同效果明显。

## 3 结语

本文从元胞空间整体状态协同转移概率和元胞九邻域状态概率计算出发扩展和改进了文献[2]提出的协同规则的元胞机模型。仿真表明该扩展模型更能体现整体环境适应度和偏好度对舆情传播的影响;同样,该模型比多数规则元胞自动机模型更符合现实。由此,扩展的协同元胞机模型具有更好的合理性。

总之,由于该模型引入复杂系统整体协同性,研究了不同协同参变量对舆情传播的影响,对协同在因特网舆情倾向度传播影响中的重要作用给予量化评价,获得了一系列有意义的结果。因此,为研究因特网舆情传播规律引入了一个新的工具。作者未来将研究协同序参数在现实世界中的物理特性和数学表达,以便将仿真结果与实际传播结果进行对比,进一步分析模型误差,加以改进,从而提高预测精度。

### 参考文献:

- [1] ALVES S G, OLIVEIRA NETO N M, MARTINS M L. Electoral surveys' influence on the voting processes: a cellular automata model [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2002, 316(1): 601-614.
- [2] 曾显葵. 基于多数规则和协同规则的元胞自动机舆论传播模型研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2007.
- [3] 方薇, 何留进, 孙凯, 等. 采用元胞自动机的网络舆情传播模型研究[J]. *计算机应用*, 2010, 30(3): 751-755.
- [4] 刘慕仁, 邓敏芝, 孔令江. 舆论传播的元胞自动机模型: I [J]. *广西师范大学学报: 自然科学版*, 2002, 20(2): 1-3.
- [5] WU F, HUBERMAN B A. Social structure and opinion formation, CA 94304 [R]. Palo Alto: HP Labs, 2006.
- [6] 聂哲, 李粤平, 温晓军, 等. 个体间相互影响的网络舆情演变模型[J]. *计算机工程应用*, 2009, 45(14): 220-222, 227.
- [7] 陆题佳. 因特网中危机信息传播规律及应对模式研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
- [8] ZENG JIANPING, ZHANG SHIYONG, WU CHENGRONG, et al. Modelling topic propagation over the Internet [J]. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamic Systems*, 2009, 15(1): 83-93.
- [9] ZENG JIANPING, ZHANG SHIYONG, WU CHENGRONG, et al. Predictive model for Internet public opinion [C]// FSKD 2007: Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007: 7-11.
- [10] 沈小峰, 胡岗, 姜璐. 耗散结构论[M]. 上海: 上海人民出版社, 1987.
- [11] HAKEN H. 协同学导论[M]. 张纪岳, 郭治安, 译. 西安: 西北大学出版社, 1981.
- [12] 张玉峰, 王志芳. 基于内容相似性的论坛用户社会网络挖掘[J]. *情报杂志*, 2010, 29(8): 125-130.
- [13] GAO GUODONG, GU BIN, LIN MINGFENG. The dynamics of online consumer reviews [C]// WISE 2006: Workshop on Information Systems and Economics. Evanston, Illinois: [s. n.], 2006: 1-6.
- [14] SUO SHUGUANG, CHEN YU. The dynamics of public opinion in complex networks [J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2008, 11(4): 2.
- [15] 陈纯柱, 敖永春. 网络环境下高校舆情的传播及引导机制研究[J]. *重庆大学学报: 社会科学版*, 2011, 17(2): 154-159.