

复杂网络中无信任边界限制的连续观点演化研究

苟智坚^{1,2}, 范明钰¹, 王光卫¹

(1. 电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054; 2. 成都信息工程学院信息安全工程学院 成都 610025)

【摘要】多数的连续观点演化模型中, 缺少考虑舆论环境对信任关系的影响, 同时信任边界条件使得观点演化聚合之后, 各观点集合中的个体无法进行后续观点交互。该文分析个体观点差异以及邻居舆论环境对交互过程中信任关系的影响, 消除信任边界对观点交互更新的限制, 建立无观点信任边界限制的连续观点演化模型, 并研究该模型观点演化统一的影响机制。理论分析与仿真实验表明: 该模型不单可以反映观点演化的聚合过程, 而且能反映舆论演化聚合之后各观点集合之间的竞争交互过程, 模型可描述观点集合形成后的观点有序集合的变化; 同时, 模型反映了在较高聚类系数的无标度网络中, 观点演化统一更加困难, 而在平均连接度高的网络中, 演化统一更加容易, 这与已有相关研究结论是基本相符的。

关键词 信任边界; 复杂网络; 连续观点; 观点演化

中图分类号 TP393.02

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2015.05.019

Research of Evolution of Continuous Opinions without Bounded Confidence in Complex Network

GOU Zhi-jian^{1,2}, FAN Ming-yu¹, and WANG Guang-wei¹

(1. School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054;

2. Institute of Information Security Engineering, Chengdu University of Information Technology Chengdu 610025)

Abstract Most models about continuous opinion dynamics lack the considerations of the effects of public opinion environment on trust relationships, and when opinions have been clustered into some collections, the bounded confidence will impede the subsequent opinion interactions between individuals that come from different opinion collections. In this paper, the change mechanism of trust relationships which affected by difference of opinion and neighboring opinion environment is analyzed, the restrictions of bounded confidence on individual interactions is eliminated, and a general model for the evolution of continuous opinions without bounded confidence is proposed. The results of simulation and of analysis show that our model not only reflect the opinions polymerization process, but also reflect the subsequent opinion interactions between individuals in different opinion collections after opinions have been aggregated. In addition, our model can do better at reflecting and explaining the process of opinion evolution, and it is consistent with existing search conclusions that the opinions consensus probability will be reduce if the clustering coefficient of complex network has been increased and will be increased with the addition of average degree.

Key words bounded confidence; complex network; continuous opinion; opinion evolution

近年来, 随着信息技术的快速发展, 社会成员之间信息交流更加便捷、频繁, 社会舆论对政治、经济、文化等领域的影响越来越大, 许多学者对社会群体中观点演化统一、分化的规律及其主导因素开展了大量研究, 形成一个跨越社会学、物理学、统计学、计算机科学等多个学科的热门研究领域^[1-2]。

较早的观点演化研究中, 通常采用离散数值表示个体观点^[3-5], 尽管离散数值能准确、清晰地反映观点演化结果的意义(如赞同或反对), 却不易描述个体

观点的渐进变化。文献[6]采用连续数值表示个体观点, 建立基于有界信任条件的连续观点演化模型(Deffuant模型), 开启了连续数值观点的演化研究; 文献[7]借鉴Deffuant模型, 设定交互信任边界同时, 引入个体交互影响力权重矩阵, 构建(Hegselmann-Krause, HK)模型。后续许多学者从观点交互策略扩展和信任机制构建、社会关系影响和意见领袖的作用等多个方面对连续观点演化进行了深入研究^[8-13]。

在上述连续观点演化研究中, 多数模型延续了Deffuant模型的有界信任假设。然而通过分析可发

收稿日期: 2014-10-12; 修回日期: 2015-05-11

基金项目: 国家863计划(2009AA01Z435)

作者简介: 苟智坚(1978-), 男, 博士生, 主要从事复杂网络、网络舆情方面的研究。

现,信任边界的设置使得观点演化聚合成若干集合后,各集合之间的个体无法进行后续观点交互,从而使演化系统完全静止,这与实际生活中观点交互情况存在差异。现实中,个体间观点交互不会因为聚合产生而停止,分属不同观点集合的个体时常产生激烈的观点交锋,造成不同观点集合间的个体观点相互转换。同时,主流基于信任边界限制的演化模型在构建观点交互过程中的信任关系时,主要考虑观点相似程度^[6-7]、个体影响力^[8]和个体间亲疏关系^[9]等因素,缺少考虑个体邻居舆论环境对交互过程中信任关系的影响(本文把邻居舆论环境表示为个体在交互过程中感知的邻居观点集合,简称舆论环境)。根据社会心理学的从众原理,个体更易接受被多数人认可的观点,这可理解为观点获得更多个体支持后,其受信任程度(可信程度)增加。为便于分析,本文把观点相似程度、个体间亲疏关系、个人影响力等因素统称为个体因素,而把舆论环境称为环境因素。因此,构建观点交互的信任关系应综合考虑个体因素和环境因素。本文重点分析个体因素和环境因素对观点交互中信任关系的影响机制以及观点演化规则,消除信任边界对观点交互的限制,建立无信任边界限制的连续观点演化模型,并分析网络结构特征、舆论敏感系数等因素对新模型的观点演化统一、观点集合重组的影响。

1 观点演化建模

在网络传媒高度发达的今天,个体观点可同时与多个好友进行分享、讨论,不再局限于个体对个体的交互。以规模为 N 的网络为例,节点表示个体,边表示相邻关系,观点演化以时间步为单位。每一时间步中,随机选择网络中某一个体作为观点传播者向其所有邻居传播观点,邻居作为观点接收者获知该观点后,可能接受该观点并向其妥协(表示接收者观点向传播者观点靠近),也可能不接受该观点而保持自身观点不变。经过一段时间演化,网络个体观点将统一或分化成若干观点集合。

设 $A = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ 表示网络中的个体集合;

$\mathbf{X}^t = \{x_1^t, x_2^t, \dots, x_N^t\}$ 表示时间步 t 时所有个体观点构成的观点向量; $x_i^t \in (0, 1), i \in A, t \geq 0$ 表示个体 i 在时间步 t 的观点。定义 $p_{i,j}^t$ 表示演化过程中观点接收者 j 向传播者 i 妥协的概率。为消除传统连续观点演化模型中信任边界的限制,使用妥协概率更新个体观点。妥协概率主要受接收者与传播者间的交互信任关系影响,信任度越高,妥协概率越大。

1.1 交互过程中的信任关系

观点演化过程中交互信任关系受个体因素和环境因素两方面影响。忽略个体主观因素,同时考虑亲疏关系、个人影响力等个体因素在一段时间内具有较好稳定性,参照相关研究^[6-8]的信任关系条件,本文把观点相似度作为主要的个体因素进行分析。

定义 $S_{i,j}^t$ 表示受观点相似度影响的交互信任程度,有:

$$S_{i,j}^t = 1 - |x_i^t - x_j^t| \quad (1)$$

式中, x_i^t 表示传播者观点; x_j^t 表示接收者观点; $|x_i^t - x_j^t|$ 反映了个体间观点差异。社会心理学研究表明^[14]: 近似观点能够加深个体间信任程度,个体对近似于自身认知的观点的信任度更高,观点差异增大, $S_{i,j}^t$ 减小; 反之 $S_{i,j}^t$ 增大。

定义 \mathbf{C}_i^t 表示个体 i 所有邻居在时间步 t 的观点向量; $F^t(\mathbf{C}_j^t, x_i^t)$ 表示观点 x_i^t 在 j 的邻居观点向量 \mathbf{C}_j^t 中获得的支持度; $F^t(\mathbf{C}_j^t, x_j^t)$ 表示观点 x_j^t 在自身邻居观点向量中获得的支持度。当 i 作为观点传播者向其邻居 j 传播观点时, j 首先分析接收到的观点 x_i^t 与自身观点 x_j^t 在观点向量 \mathbf{C}_j^t 中获得的支持度,如果观点 x_i^t 获得更大支持,则个体 j 更易向 x_i^t 妥协。

个体用什么原则分析观点在舆论环境中的支持度呢? 如图1分析示例所示,若观点 x_1 不存在对比观点(无参照坐标),认为数轴上所有观点都不支持 x_1 ; 当 x_1 与 x_4 进行对比时,则认为 x_2 支持 x_1 , x_3 支持 x_4 , 此时把 x_1 与 x_4 的差异作为筛选支持观点的标准。正如文献[15]中的描述——(个体)对于某种情形的知觉与熟悉,会建立一种同化或解释之后的经验性的参照系或定式,即个体对舆论环境中支持观点的筛选需要一个经验性的参照系。

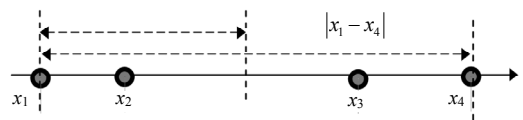


图1 筛选条件 δ 的取值

定义 $\delta_{i,j}^t$ 表示个体 i, j 的观点在时间步 t 的支持度筛选条件, 即:

$$\delta_{i,j}^t = |x_i^t - x_j^t|/2 \quad (2)$$

式中, 当 $\delta_{i,j}^t = 0$, 表明 x_i^t 与 x_j^t 完全相同, 此时观点交互没有意义; 当 $\delta_{i,j}^t \neq 0$, 观点接收者 j 将评估自身观点 x_j^t 与接收观点 x_i^t 在舆论环境中获得的支持度。定义 ψ_j 表示个体 j 的邻居集合, 当 $k \in \psi_j$, 观

点 x'_k 满足 $x'_j - \delta'_{i,j} \leq x'_k \leq x'_j + \delta'_{i,j}$, 且 $k \neq i$ 时, x'_k 支持观点 x'_j , $F'(C'_j, x'_j)$ 可表示为:

$$F'(C'_j, x'_j) = \sum_{k \in \Psi_j, k \neq i} (1 - |x'_j - x'_k| / \delta'_{i,j})$$

$$\delta'_{i,j} > 0 \text{ 且 } x'_j - \delta'_{i,j} \leq x'_k \leq x'_j + \delta'_{i,j} \quad (3)$$

同理:

$$F'(C'_j, x'_i) = \sum_{k \in \Psi_j, k \neq i} (1 - |x'_i - x'_k| / \delta'_{i,j})$$

$$\delta'_{i,j} > 0 \text{ 且 } x'_i - \delta'_{i,j} \leq x'_k \leq x'_i + \delta'_{i,j} \quad (4)$$

通过分析, 当 $F'(C'_j, x'_i) > F'(C'_j, x'_j)$, 接收者对传播者信任关系加强; 当 $F'(C'_j, x'_i) < F'(C'_j, x'_j)$, 接收者对传播者信任关系减弱; 当 $F'(C'_j, x'_i) = F'(C'_j, x'_j)$, 舆论环境对信任关系没有影响。

定义 $D'_{i,j}$ 表示舆论环境 C'_j 对观点 x'_j 和 x'_i 的支持度差异, 支持度差异性越大, 舆论环境对交互信任关系的增强或减弱的程度越大。为方便表达, 用 F'_i 和 F'_j 分别替换 $F'(C'_j, x'_i)$ 和 $F'(C'_j, x'_j)$, 则有:

$$D'_{i,j} = \begin{cases} \frac{F'_i - F'_j}{F'_i + F'_j} |F'_i - F'_j| & F'_i + F'_j \neq 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中, $(F'_i - F'_j) / (F'_i + F'_j)$ 表示支持度比值差异; $|F'_i - F'_j|$ 表示支持度差值差异。单纯采用比值或差值来度量支持度差异是不合适的, 如表1所示。

表1 观点支持度差异度量

序号	F'_{C_j}	F'_{C_i}	$ F'_i - F'_j $	$\frac{F'_i - F'_j}{F'_i + F'_j}$
1	20	24	4	0.09
2	1	5	4	0.67
3	1	2	1	0.33
4	10	20	10	0.33

表1中, 1, 2行所代表的舆论环境对观点 x'_j 和 x'_i 的支持度差值为4, 比值分别为0.09和0.67, 根据从众心理, 第2行代表的舆论环境对信任关系的增强幅度更大; 同理, 3, 4行代表的舆论环境对观点支持度的比值差异为0.33, 而差值分别是1和10, 易知第4行代表的舆论环境对信任关系的增强幅度更大。因此, 观点支持度差异 $D'_{i,j}$ 应结合观点比值和差值得出。

$$H'_i = \begin{cases} \frac{-R'_i}{R'_i + G'_i} \log_2 \frac{R'_i}{R'_i + G'_i} + \frac{-G'_i}{R'_i + G'_i} \log_2 \frac{G'_i}{R'_i + G'_i} & R'_i, G'_i \neq 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

式中, $R'_i = G'_i$ 时, 表示观点值平均落在离均值最远

定义 $\theta'_{i,j}$ 表示舆论环境对交互信任程度的影响, 有:

$$\theta'_{i,j} = \text{sign}(1 - e^{-\tau D'_{i,j}}) \quad \tau \geq 0 \quad (6)$$

式中, $D'_{i,j} \geq 0$, sign 取正, 表示信任度增加; $D'_{i,j} < 0$, sign 取负, 表示信任度减少。参数 $\tau \geq 0$ 表示个体对舆论环境的敏感程度, τ 值越大, 接收者越容易受舆论环境影响。定义 $p'_{i,j} \in [0, 1]$ 表示 j 在时间步 t 对传播者 i 的观点的妥协概率, 有:

$$p'_{i,j} = \begin{cases} S'_{i,j} + (1 - S'_{i,j})\theta'_{i,j} & \theta'_{i,j} > 0 \\ S'_{i,j} + S'_{i,j}\theta'_{i,j} & \theta'_{i,j} < 0 \\ S'_{i,j} & \theta'_{i,j} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中, $\theta'_{i,j} < 0$, j 对 i 的信任度在 $S'_{i,j}$ 基础上减弱, $p'_{i,j}$ 减少; $\theta'_{i,j} = 0$, 信任度不受舆论环境影响; $\theta'_{i,j} > 0$, 信任度在 $S'_{i,j}$ 的基础上增强, $p'_{i,j}$ 增加。

1.2 观点的交流与妥协

人际交流的目的是达成共识, 交流心理学^[16]认为, 人们的需求倾向影响人际交流, 当个体感知的舆论环境与自身观点相似性较高, 交流的目的性需求降低, 使得个体间话题交流意愿减小; 另外, 根据沉默螺旋^[17]理论, 个体感知的舆论环境形成较统一的认识时, 自身不易发起新观点, 因此, 个体在面对更加统一的舆论观点时, 参与讨论的意愿降低。

为度量舆论环境中观点的统一程度, 借鉴香农对信息熵的描述, 定义 H'_i 表示个体 i 在时间步 t 的舆论环境信息熵, 其物理意义可理解为舆论环境观点的统一程度。 $E'_i = 1/k \sum_{i=1}^k c'_i$ 表示 i 的邻居观点向量 C'_i 的观点平均值, C'_i 中观点与均值 E'_i 的差值构成观点差异向量 $V'_i = \{v'_1, v'_2, \dots, v'_k\}$, $v'_k = |c'_k - E'_i|$, 其均值 $G'_i = 1/k \sum_{i=1}^k v'_i$ 。可以看出, 当 C'_i 中观点一致时, $G'_i = 0$; 而当 C'_i 中所有观点离均值 E'_i 最远时(即 G'_i 取最大值), 舆论环境的观点统一程度最低。设 R'_i 表示 G'_i 的理论最大值, 由于 C'_i 中分布于均值 E'_i 两端的个体观点与均值的距离之和相等, 则最大差值 $R'_i = 1/2 - |1/2 - E'_i|$, 则舆论环境信息熵为:

端, 此时舆论环境观点统一程度最低($H'_i = 1$), 当所

有观点相同时 ($G_i^t = 0$), 即 $H_i^t = 0$, 此时舆论环境观点统一有序。

观点交流过程中, 有吸引力的话题可以使更多的人参与讨论。设 $\mu \geq 0$ 表示话题吸引力, μ 值越大, 话题吸引力越大。定义个体 i 在时间步 t 时参与话题观点交流的概率为:

$$q_i^t = 1 - e^{-\mu H_i^t} \quad (9)$$

式中, 话题吸引力 μ 和环境观点信息熵 H_i^t 共同影响着个体参与观点交流的概率, 随着 μ 或 H_i^t 增加, 个体参与观点讨论的概率增加; 反之减小。当 $H_i^t = 0$ 或 $\mu = 0$ 时, 个体失去参与观点交流兴趣; 当 μ 取值较大时, H_i^t 较小的变化也会引起 q_i^t 明显变化。

观点演化需要个体有参与话题讨论热情, 同时也需要个体对新观点的妥协。其演化步骤为:

1) 任意时间步 t , 随机选择个体 i , 根据式(9)计算其参与交流的概率 q_i^t 。以概率 q_i^t 向所有邻居发送观点 x_i^t ; 以概率 $1 - q_i^t$ 不发送。如不发送观点则进入下一时间步, 选择新传播节点; 否则跳到第2步执行。

2) 假定时间步 $t = 0$ 时, 任意个体 j 已知邻居初始观点, 并构成观点向量 C_j^0 , j 作为观点接收者获知其邻居 i 的观点 x_i^t 后, 更新邻居观点向量 C_j^t , 根据式(7)计算观点妥协概率 $p_{i,j}^t$ 。如果接收者 j 以概率 $p_{i,j}^t$ 向传播者 i 妥协, 则 $x_j^{t+1} \leftarrow x_j^t + \text{rand} \times (x_i^t - x_j^t)$ ($\text{rand} \in (0,1)$ 中随机值); 若不妥协, 则 $x_j^{t+1} \leftarrow x_j^t$ 。

3) 当个体与邻居环境的观点相同时, 根据式(9), 个体失去观点传播兴趣, 不参与观点讨论。定义事件 $\text{Event}_{i,j}$ 表示个体 j 的观点受邻居 i 影响而发生变化 (i, j 观点不同), 其概率为:

$$P^t(\text{Event}_{i,j}) = p_{i,j}^t q_i^t \quad (10)$$

考虑网络中出现多个观点集合并存时, 处于观点集合边界的个体之间观点影响概率不为0, 理论上, 观点演化需形成统一观点时才结束。观点完全统一所需演化时间非常大, 需设定一个演化结束条件, 同时不影响演化规律判定。当网络中观点集合相对稳定时, 个体观点受其邻居影响而产生变化的概率趋于0, 而非等于0。设个体 j 在时间步 t 受邻居观点影响并发生变化的平均概率为:

$$P_j^t(\text{Event}) = \frac{1}{n} \sum_{i \in C_j^t} p_{i,j}^t q_i^t \quad (11)$$

式中, n 表示 C_j^t 中邻居观点数量。定义 $P^t(\text{Event})$ 表示时间步 t 时, 网络中所有节点受邻居影响发生观点变化的平均概率。当 $P^t(\text{Event})$ 趋于0, 表明网络中

多数节点不易发生观点变化, 然而却不能直接使用某一时间步 t 时的平均影响概率 $P^t(\text{Event})$ 趋于0作为演化结束条件, 而应该保证在一段持续时间内个体受邻居影响的平均概率趋于0。设从时间步 $t+1$ 开始到 $t+l$ 时间步, 网络中所有个体受其邻居影响的概率平均值为:

$$\Delta P_l = \frac{1}{l} \left(\sum_{t=t+1}^{t+l} P^t(\text{Event}) \right) \quad (12)$$

当 $P^t(\text{Event}) - \varepsilon \leq 0$ 且 $\Delta P_l - \varepsilon \leq 0$ 时, 观点演化结束。

2 模型分析与仿真

模型构建的观点演化过程是非线性的, 且没有解析解, 因此, 本文对模型演化进行定性分析, 并依托复杂适应系统理论 (complex adaptive system, CAS), 基于Agent(主体)的仿真建模来观察观点的演化统一与分化过程, 分析网络结构特征对观点演化的影响。

对社会关系网络的相关研究表明, 社会关系网络具有无标度、较高聚类系数^[18-21]等特性。本文选择文献[18]提出的可变聚类系数无标度网络算法, 构造具有较高聚类系数的无标度网络来模拟现实社会关系网络。算法思路是在经典无标度网络(BA网络模型)^[21]构造算法基础上, 修改加边策略。当新增节点添加 m (m 表示BA模型中每个新增节点的加边总数)条边时, 以概率 $(1-TP)$ 执行优先选择策略, 以概率 (TP) 执行三角连接策略。优先策略继承BA模型中度大优先原则, 三角连接策略则构建互为邻居关系, 提高网络聚类系数, 算法中每次新增节点的加边数量 m 影响网络平均连接度。

未特别说明, 实验网络规模为1 000, 新增节点加边数 $m = 4$ 。初始观点随机分布, 演化开始时, 个体已知所有邻居初始观点, 数据独立采样200次, 话题吸引力 $\mu = 1$, 结束条件 $\varepsilon = 0.005$, $l = 5\ 000$ 。为方便分析, 同时不影响演化规律判定, 定义演化形成的观点集合的个体数量大于网络规模的5%, 且集合中任意个体间观点差异小于0.05, 标准差小于0.012 5。CI表示平均观点集合数, 当观点集合中个体数量大于网络规模的95%, 且集合中任意个体间观点差异小于0.05, 标准差小于0.012 5时, 则观点统一。

2.1 观点集合的形成

基于有界信任舆论演化模型中(如Deffuant、HK模型^[6-7]), 观点分化主要受信任边界影响, 个体间观点满足信任边界条件才能交互, 这导致观点分化后,

属于不同观点集合的个体之间观点信任度(可信度)不满足信任边界条件, 从而无法进行后续观点交互, 图2展示了经典连续观点演化模型。

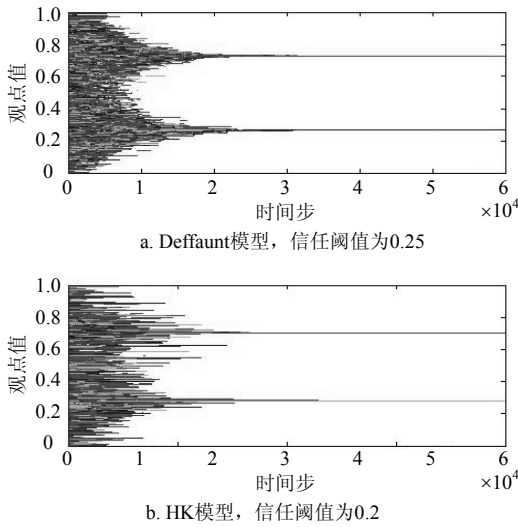


图2 Deffault、HK模型的观点演化结果

本文构建的观点演化模型中, 消除信任边界限制, 代以妥协概率约束观点演化更新。当演化形成若干观点集合后, 处于不同观点集合的个体间仍可进行观点交互, 此时观点集合为动态有序。图3显示了新模型演化过程中观点分布变化, 个体对舆论环境敏感系数分别选取5,10,20,30, TP=0.8, 模型的演化结果出现多种情形(图3选取具有代表性的演化结果), 反映舆论观点演化的复杂性。图3a展示了有限演化时间内的观点演化统一过程; 图3b的演化执行到大约7 000时间步时, 出现3个明显的分化集合(集中在0.62、0.44、0.38左右), 此时3个集合之间的个体交互并没停止, 在时间步35 000、54 000、72 000左右, 分别出现观点集合合并, 并最终统一; 图3c演化过程中出现两个观点集合, 尽管集合形成后偶尔出现不同集合间个体观点交互, 但两个集合一直并存, 直到演化结束。图3d出现多个观点集合并存, 演化没有形成观点统一。定义事件M表示演化过程中出现观点集合重组, 实验中每5 000时间步进行一次观点集合数量统计, 出现观点集合数量减少, 即事件M发生。表2统计了观点统一、多集合并存、集合重组等事件发生的概率。

表2 观点演化结果统计概率

实验条件	观点统一 概率	多个观点集合 并存概率	发生观点集合 重组概率
$\tau=5$	0.98	0.02	0.05
$\tau=10$	0.76	0.24	0.32
$\tau=20$	0.33	0.67	0.78
$\tau=30$	0.14	0.86	0.23

从图2与图3对比看出, 新模型不单刻画观点演化统一过程; 同时刻画了观点聚合之后, 各观点集合之间的个体交互, 演化可能因为小的系统涨落而出现观点有序集合的变化(如图3b), 模型的这一特征似乎能更全面展现真实环境下的观点演化的过程。

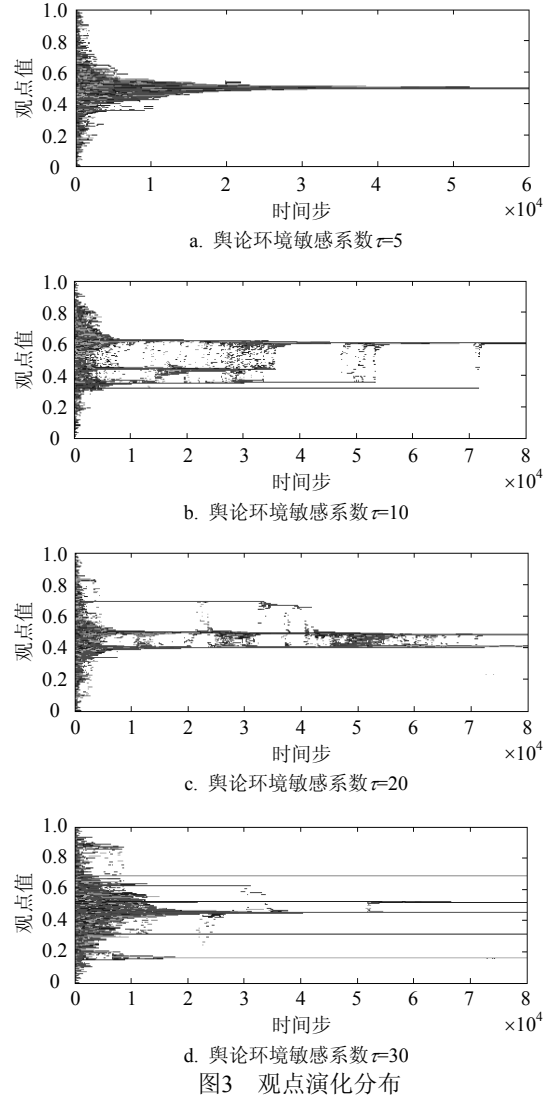


图3 观点演化分布

2.2 网络结构特征对观点演化统一的影响

文献[22-25]研究表明, 舆论观点传播与演化受到社会关系网络的结构特征影响, 本节将分析可变聚类网络结构特征对观点演化统一的影响。定义观点演化统一概率 $p = \text{count}/\text{loop}$, 其中, loop表示独立实验次数, count表示出现观点统一的次数。考虑时间步t时刻, 选择度为k的节点i向邻居发送观点, 其邻居会向i观点妥协或僵持, 形成局部舆论环境。定义i与邻居节点构成集合 u_i , 在 $t + \Delta t$ 时间步, u_i 中 π 个节点收到共同邻居j的观点, j可能属于 u_i , 也可能来自网络中其他节点, 如图4所示。

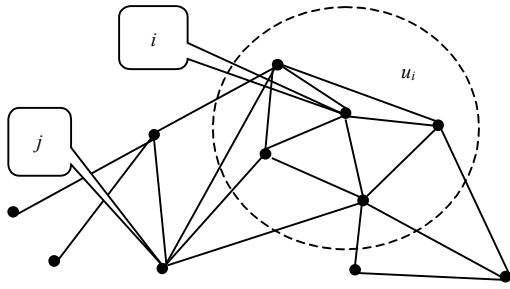


图4 虚线圈定的节点为 u_i 节点集合, j 节点属于集合 u_i 之外的其他节点。

定义 φ_j 表示 j 属于 u_i 的概率, 假定 u_i 中一定存在度大于等于 π 的节点。设 E 表示 i 的邻居节点间连边总数, 则 $(E+k)$ 表示 u_i 节点间连边总和(k 是 i 的度), u_i 中所有节点度的总和为 $\sum_{k' \in v_i} k'$ (k' 表示节点度), 连边总数为 $\sum_{k' \in v_i} k'/2$ (部分边是 u_i 中节点间连边, 另一部分来自 u_i 之外其他节点)。新模型的单个时间步中, 仅选取唯一传播节点, 当 j 传播观点经过一条属于 u_i 节点间连边 $(E+k)$ 条边中任意一条边, 则节点 $j \in u_i$ 。因此, 在 $\sum_{k' \in v_i} k'/2$ 条边中选 u_i 集合的节点间连边的概率 φ_j 应满足如下关系:

$$\varphi_j \propto \frac{2(E+k)}{\sum_{k' \in v_i} k'} \quad (13)$$

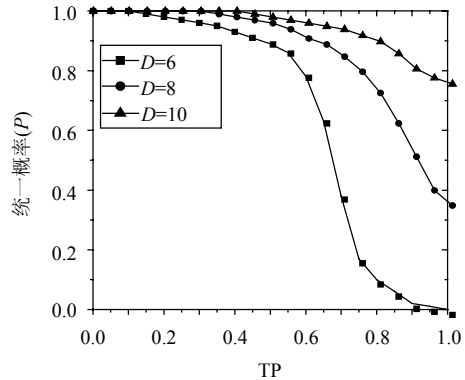
节点 i 聚类系数 $c_i = 2E/k(k-1)$ (E 表示 i 的邻居间连边总数, k 是 i 的度), 式(13)可改写为:

$$\varphi_j \propto \frac{c_i k(k-1) + 2k}{\sum_{k' \in v_i} k'} \quad (14)$$

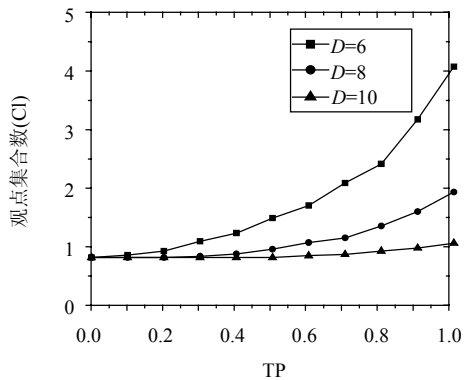
式中, φ_j 随 c_i 增加而增大, u_i 中的节点与 u_i 之外节点进行观点交互的概率降低。根据新模型中观点可信度受舆论环境的影响规律, u_i 内部节点间观点交互越频繁, 其观点越趋近一致, 促使 u_i 中节点不易被 u_i 之外的个体观点改变。因此, φ_j 增加导致观点统一概率降低, 演化将产生更多观点集合; 当网络平均连接度增加($\sum_{k' \in v_i} k'$ 增加), 在 c_i 不变情况下, φ_j

减小, u_i 中节点与外部节点进行观点交互的概率增加, 从而增大观点统一概率。图5a中, TP增加(网络聚类系数增加), 观点统一概率 P 降低, 而在相同TP情况下, 较高平均连接度有助于提高观点统一概率; 在图5b中, 观点分化的集合数量CI随着TP增加而增大, 这与前文中聚类系数与平均连接度对观点演化影响的分析结论一致。图6统计了观点演化形成的最大观点集合人数随TP变化的曲线(图中选取3种舆论

敏感系数)。从图5和图6看出, 可变聚类无标度网络的TP值增大, 平均最大观点集合人数将减少, 聚类系数对演化统一具有阻碍作用, 主要原因是较高聚类系数意味个体邻居关系更紧密, 局部个体间形成近似观点后, 其感知的舆论环境认知协调性较好, 文献[26]认为个体认知协调程度影响认知改变, 较好的认知协调性使个体不易改变自身观点; 较高网络平均连接度意味着观点交流途径更广, 更多沟通使得观点更容易统一, 这与文献[23]研究结论基本一致。



a. 观点统一概率受TP影响变化



b. 观点集合数受TP影响变化

图5 TP对观点演化结果影响, 话题吸引力 $\mu=1$, 舆论环境敏感系数 $\tau=10$; D 表示网络平均连接度

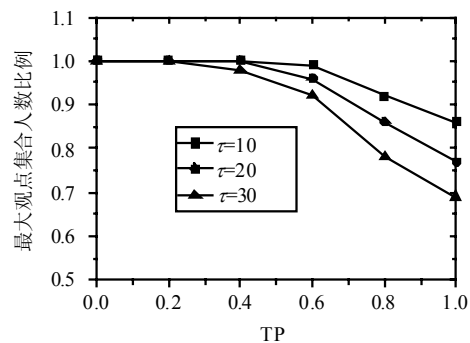


图6 不同TP条件下最大观点集合人数比例变化

2.3 舆论环境敏感性对观点统一的影响

模型中引入的舆论环境敏感系数 τ 增加, 邻居间观点演化形成小团体, 阻碍观点演化一致。图7显示敏感系数对观点聚合统一的影响, 话题吸引力

$\mu=1,10,20$ 。当 $\tau=0$,信任关系不受舆论环境影响,个体间观点交流渠道始终打开(妥协概率 $p>0$),观点最终统一;当 $\tau>0$,随着 τ 值增加,邻居舆论环境对信任关系影响增大,个体接受新观点越困难,观点统一概率减小。实验结果表明,在具有较高聚类系数的无标度网络中,个体对舆论环境敏感性越高,受环境影响压力越大,观点演化统一概率越小。

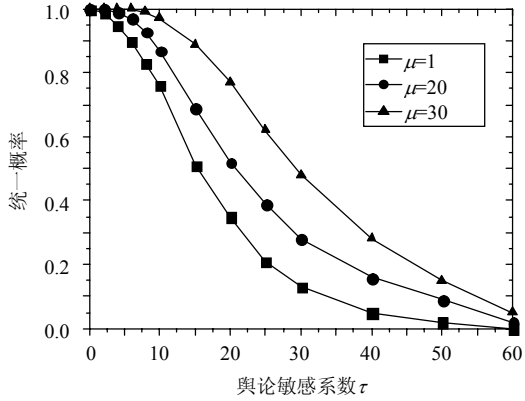


图7 受舆论敏感系数影响的观点演化统一概率

图8统计了舆论敏感系数对观点集合重组概率的影响。观点集合重组概率随舆论敏感系数变化是非单调的,在 $\tau \in [15,25]$ 区间左右,观点集合重组概率较大。舆论敏感系数较小时,妥协概率较大,不易出现观点分裂(图3a),也不会出现观点集合重组;个体舆论敏感系数较大时,如果观点集合中个体与邻居的观点较近似,个体对新观点妥协概率较低,观点集合不易变化;在适度舆论敏感系数(如图8中 $\tau \in [15,25]$)情况下,不同观点集合中的个体具有较大概率向新接收观点妥协,促使观点集合重组,使得网络中观点有序结构发生变化。

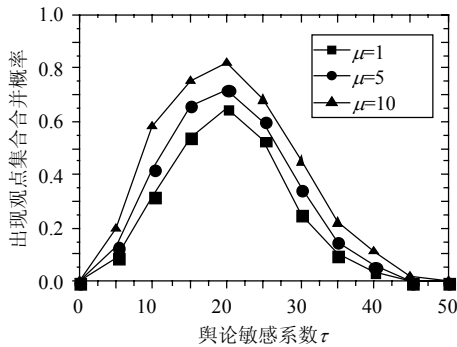


图8 观点集合重组概率与舆论敏感系数的关系

3 结束语

本文考虑观点相似度与舆论环境对观点演化过程中信任关系的影响,消除传统连续观点演化模型中信任边界限制条件,建立无信任边界限制连续观点演化模型,分析网络结构特征、舆论敏感系数等

因素对新模型中观点演化统一、观点集合重组的影响。理论分析与仿真实验表明:模型不单可以反映观点演化聚合过程,而且能反映观点聚合之后各观点集合之间的观点交互;演化形成多个观点集合并非绝对静止,人们对周围舆论的敏感性较高时,舆论观点集合不易被打破,个体对新观点的接受会更加保守;在较高聚类系数的无标度网络中,观点统一更加困难,而平均连接度增加,观点统一将更容易,这与已有研究结论基本相符。由于舆论演化过程的复杂性,建模过程中,没有考虑多个话题的竞争、个体权威性、交互方式等因素对舆论演化的影响,这需要在后续的研究中加以拓展。

参 考 文 献

- [1] LORENZ J. Continuous opinion dynamics under bounded confidence: a survey[J]. International Journal of Modern Physics C, 2007, 18(12): 1819-1838.
- [2] 刘云, 丁飞, 张振江. 舆论形成和演进模型的研究综述[J]. 北京交通大学学报, 2010, 34(5): 83-88.
LIU Yun, DING Fei, ZHANG Zhen-jiang. A survey of models of consensus formation and evolution[J]. Journal of Beijing Jiao tong University, 2010, 34(5): 83-88.
- [3] FÖLLMER H. Random economies with many interacting agents[J]. Journal of Mathematical Economics, 1974, 1(1): 51-62.
- [4] NOWAK A, SZAMREJ J, LATANE B. From private attitude to public opinion: a dynamic theory of social impact[J]. Psychological Review, 1990(97): 362-376.
- [5] SZNAJD-WERON K, SZNAJD J[J]. International Journal of Modern Physics C, 2000(11): 1157-1165.
- [6] GUILLAUME D, NEAU D, AMBLARD F. Mixing beliefs among interacting agents[J]. Advances in Complex System, 2000(3): 87-98.
- [7] HEGSELMANN R, KRAUSE U. Opinion dynamics and bounded confidence: models, analysis and simulation[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2002, 5(3): 1-24.
- [8] SI Xia-meng, LIU Yun, XIONG Fei, et al. Effects of selective attention on continuous opinions and discrete decisions[J]. Physica A, 2010, 389(18): 3711-3719.
- [9] 苏炯铭, 刘宝宏, 李琦, 等. 社会群体中观点的信任、演化与共识[J]. 物理学报, 2014(63): 050501-050507.
SU Jiong-ming, LIU Bao-hong, LI Qi, et al. Trust, evolution, and consensus of opinions in a social group[J]. Acta Phys Sin, 2014(63): 050501-050507.
- [10] YANG Yue-cheng, DIMAROGONAS D V, HU Xiao-ming. Opinion consensus of modified hegselmann-krause models[J]. Automatica, 2014(50): 622-627.
- [11] SLANINA F. Dynamical phase transitions in hegselmann-krause model of opinion dynamics and consensus[J]. European Physical Journal B, 2011, 79(1): 99-106.
- [12] BEN-NAIM E. Opinion dynamics: Rise and fall of political

- parties[J]. Euro physics Letters, 2005, 69(5): 671-677.
- [13] GUILLAUME D, FRÉDÉRIC A, GÉRARD W, et al. How can extremism prevail? a study based on the relative agreement interaction model[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2002, 5(4): 196-224.
- [14] 戴维·迈尔斯著. 社会心理学[M]. 张智勇, 乐国安, 侯玉波, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
DAVID G M. Social psychology[M]. Translated by ZHANG Zhi-yong, LE Guo-an, HOU Yu-bo. Beijing: Posts and Telecom Press, 2006.
- [15] 王承璐. 态度改变的认知说服途径分析[J]. 上海师范大学学报(哲学社会科学版), 1987(3): 99-104.
WANG Cheng-lu. Analysis of approaches to the change of cognition attitude[J]. Journal of Shanghai Normal University (Philosophy & Social Sciences Edition), 1987(3): 99-104.
- [16] 姜琳. 交流心理学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
JIANG Lin. Psychology of communication[M]. Beijing: Tsinghua University Press. 2008.
- [17] 诺尔·诺依曼. 沉默的螺旋: 舆论——我们的社会皮肤[M]. 董璐, 译, 2013, 北京: 北京大学出版社.
NEUMANN N. The spiral of silence: Public opinion—our social skin[M]. Translated by DONG Lu. Beijing: Peking University press, 2013.
- [18] HOLME P, KIM B J. Growing scale-free networks with tunable clustering[J]. Phys Rev E, 2002, 65(2): 95-129.
- [19] JIN E M, GIRVAN M, NEWMAN M E J. The structure of growing social networks[J]. Physical Review E, 2001, 64(4): 322-333.
- [20] NEWMAN M E, GIRVAN M. Finding and evaluating community structure in networks[J]. Phys Rev E, 2004, 67(2): 6113-6119.
- [21] ALBERT-LASZLO B, REKA A. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286(5439): 509-512.
- [22] 何敏华, 张端明, 王海艳, 等. 基于无标度网络拓扑结构变化的舆论演化模型[J]. 物理学报, 2010(59): 5175-5181.
HE Min-hua, ZHANG Duan-ming, WANG Hai-yan, et al. Public opinion evolution model with the variable topology structure based on scale free network[J]. Acta Phys Sin, 2010(59): 5175-5181.
- [23] 张海峰, 刘云, 张振江. 拓扑结构对互联网舆论传播的影响[J]. 北京交通大学学报, 2010, 34(5): 123-126.
ZHANG Hai-feng, LIU Yun, ZHANG Zhen-jiang. Effect of topology structure on internet opinion spreading[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010, 34(5): 123-126.
- [24] 吕琳媛. 复杂网络链路预测[J]. 电子科技大学学报, 2010, 39(5): 651-661.
LÜ Lin-yuan. Link prediction on complex networks[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2010, 39(5): 651-661.
- [25] 阚佳倩, 谢家荣, 张海峰. 社会强化效应及连边权重对网络信息传播的影响分析[J]. 电子科技大学学报, 2014, 43(1): 21-25.
KAN Jia-qian, XIE Jia-rong, ZHANG Hai-feng. Impacts of social reinforcement and edge weight on the spreading of information in networks[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2014, 43(1): 21-25.
- [26] FESTINGER L. A theory of cognitive dissonance[M]. Stanford: Stanford University Press, 1957.

编辑 张俊