



计算机科学

COMPUTER SCIENCE

舆论动力学模型综述

刘淑娴, 徐欢, 王微, 邓乐

引用本文

刘淑娴, 徐欢, 王微, 邓乐. [舆论动力学模型综述](#)[J]. 计算机科学, 2024, 51(2): 15-26.

LIU Shuxian, XU Huan, WANG Wei, DENG Le. [Review of Public Opinion Dynamics Models](#)[J].

Computer Science, 2024, 51(2): 15-26.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[基于密码学累加器的电力物联网设备接入管理](#)

Power Internet of Things Device Access Management Based on Cryptographic Accumulator

计算机科学, 2022, 49(11A): 210900218-6. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.210900218>

[基于机器视觉的Web应用页面元素识别及可视化脚本生成](#)

Web Application Page Element Recognition and Visual Script Generation Based on Machine Vision

计算机科学, 2022, 49(11): 65-75. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.220200122>

[基于社会网络分析法对信息流空间传播特征的研究](#)

Study on Spatial Propagation Characteristics of Information Flow Based on Social Network Analysis Method

计算机科学. <https://doi.org/10.11896/j.issn.1002-137X.2018.12.045>

[面向语句的MBFL变异体约减策略](#)

MBFL with Statement-oriented Mutant Reduction Strategy

计算机科学, 2017, 44(11): 175-180. <https://doi.org/10.11896/j.issn.1002-137X.2017.11.026>

[基于意见领袖引导作用的网络舆论演化研究](#)

Research on Evolution of Online Consensus Based on Opinion Leader's Guiding Role

计算机科学, 2013, 40(11): 287-290.

舆论动力学模型综述

刘淑娴 徐欢 王微 邓乐

新疆大学信息科学与工程学院 乌鲁木齐 830046

(liushuxian@xju.edu.cn)

摘要 社交网络为信息传播提供了媒介,导致了舆论的快速发展。控制舆论的发展方向是舆论动力学的核心问题之一。然而,舆论动力学模型主要通过研究主体意见更新的方式,来推理出舆论演化的规律。针对目前的舆论动力学模型进行了分类,分析了各自的优缺点,及其在不同领域的应用,并总结了舆论动力学的未来研究方向。该研究有助于理解舆论演化的规律,从而可以为政府等机构控制舆论导向提供较好的指导。

关键词:舆论;舆论动力学;舆论演化

中图分类号 TP391

Review of Public Opinion Dynamics Models

LIU Shuxian, XU Huan, WANG Wei and DENG Le

College of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract Social network provides a medium for information dissemination, leading to the rapid development of public opinion. Controlling the development direction of public opinion is one of the core issues of public opinion dynamics. However, the public opinion dynamics model mainly studies the way of updating the opinions of the subject so as to deduce the law of public opinion evolution. This paper classifies the current public opinion dynamics models, analyzes their advantages and disadvantages, and their applications in different fields, and summarizes the future research direction of public opinion dynamics. It is helpful to understand the law of the evolution of public opinion, so as to provide better guidance for the government and other institutions to control the direction of public opinion.

Keywords Public opinion, Dynamics of public opinion, Public opinion evolution

1 引言

舆论^[1]作为一个独立的合成术语,最早出现在18世纪,通常指公众普遍持有的观念、看法、判断或情绪^[2]。舆论是人们所熟知的一种社会现象,大多数人都在舆论的形成及传播过程中扮演着各种各样的角色。作为人类社会的一种特有现象,舆论是人们对他事物价值判断的表达^[3]。然而随着社会的发展以及网络时代的到来,舆论可以在不同的社交平台快速传播,如今舆论已经严重影响了社会的健康发展。为此,大量的研究人员对舆论演化进行了研究,针对不同的时间场合需要提出了不同的舆论动力学模型。到目前为止,舆论动力学已经发展了几十年了,大多数模型是将人作为网络中的节点进行研究,分析节点的意见更新规则。舆论动力学模型主要由3个要素^[4]组成:意见表达格式、意见融合规则和意见动态环境。运用数学和计算统计方法,我们能够观察和分析舆情演化的过程,并

考虑各种影响因素以得到稳定结果。借助这些分析,我们可以预测舆论的走向。

目前,社交网络中的舆论导向研究主要集中在舆论传播过程的研究和舆论演化研究两个方面,而舆论演化的研究关键在于建立合适的舆论动力学模型。舆论动力学模型主要分为4类:离散意见动力学模型、连续意见动力学模型、混合动力学模型和其他动力学模型。

本文主要综述了复杂网络上的舆论动力学模型在社交网络舆论演化中的应用,根据社交网络中的主体和代理人意见的特点对舆论动力学模型进行了分类,比较了分析了各种不同动力学模型的优缺点,并总结了相关领域的未来研究方向。文章主要分为4个模块:第一个模块对舆论动力学模型的研究背景进行了简单介绍;第二个模块详细介绍了舆论动力学模型,列举了目前舆论动力学模型领域研究中比较经典的动力学模型,根据代理人意见表达方式的特点对上述模型进行了分类,并按类进行了对比分析;第三个模块总结了一些舆论

到稿日期:2023-01-16 返修日期:2023-04-28

基金项目:国家自然科学基金(61762085);新疆维吾尔自治区自然科学基金面上项目(2019D01C081)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China(61762085) and Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region, China(2019D01C081).

通信作者:徐欢(xhuan@stu.xju.edu.cn)

动力学模型的应用;最后总结了相关的研究成果,并对舆论动力学模型的未来发展方向进行了展望。

2 舆论动力学的框架与表述

舆论动力学模型,也称为意见动力学模型。舆论是由个人的意见演化形成的,而意见的形成是一个动态的过程。意见动态是个人根据融合规则不断更新自己意见的一个过程。在这个过程中,个人会对某一个问得出自己的观点,最后所有的代理人会形成一个稳定结构:共识、两级分化或碎片化。舆论动力学框架主要由初始的表达意见、意见融合规则和稳定结构 3 部分组成,如图 1 所示。

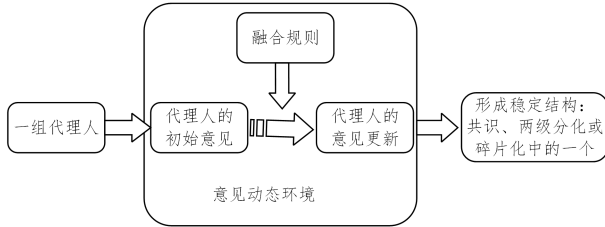


图 1 舆论动力学框架

Fig. 1 Framework of public opinion dynamics

3 离散动力学模型

本章主要研究意见空间是离散的意见模型。与其他类模型相比,离散模型提出得更早,应用更广泛。离散意见模型在研究之初多采用二元意见。随着研究的深入,一些扩展模型使用多种观点来研究更复杂的情况。

3.1 离散意见动力学模型

比较经典的离散意见动力学模型主要有: Voter 模型、Majority Rule 模型、Sznajd 模型。

3.2 Voter 模型

选民模型是最简单的意见动态模型之一,最初用于分析物种竞争^[5],而后常在选举竞争中应用^[6]并因此得名。该模型随后在舆论动态领域引起了大量关注,且许多研究者在此基础上进行了改进,提出了约束三态选民模型^[7]、摇摆投票者模型(Vacillating Voter Model, VVM)^[8]、非保守投票者模型(Non-conservative Voter Model, NVM)^[9]、异质投票者模型(Heterogeneous Voter Model, HVM)^[10]、自信投票者模型(Confident Voter Model, CVM)^[11]和广义的投票者模型(Generalized Voter Model, GVM)^[12]等模型。Voter 模型主要是用于讨论公众对社会问题选择的社会动力。Voter 模型的意见更新过程如图 2 所示(箭头向上代表正意见,箭头向下代表负意见)。

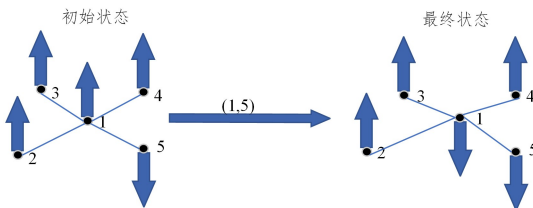


图 2 Voter 模型的交互图

Fig. 2 Interaction diagram of Voter model

代理人 i 选择邻居更新意见的可能性为:

$$W_i = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\sigma_i}{z} \sum_j \sigma_j \right) \quad (1)$$

其中, σ_i 是代理人 i 的意见, σ_j 是选择邻居 j 的意见, z 是邻居的数量。

这种模型虽然只是对现实意见演化过程的一个相当粗略的描述,但由于它是少数几个可在任意维度上精确求解的非平衡随机过程之一,因此在学术界非常流行。它通常被用于随机网络、小世界网络、无标度网络等网络研究中。不同于 ISing 模型,其中的动态交互与它们的大多数邻居保持一致, Voter 模型动态过程只涉及一个邻居,大多数人并不发挥直接作用,而是通过同伴互动间感受到影响。

3.3 Majority Rule (MR) 模型

MR 模型首先被提出用来描述公共辩论^[13]。该模型更新规则的基本思想为:首先随机选择一组投票人,然后该组的投票人采纳该组中大多数人所支持的意见,这两个步骤重复进行,直到民众意见达成共识。Majority Rule (MR) 模型的更新过程如图 3 所示(箭头向上代表正意见,箭头向下代表负意见)。

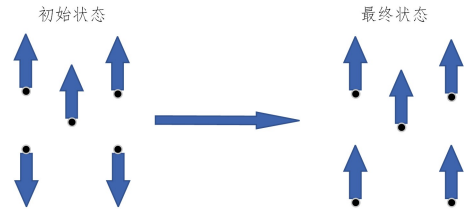


图 3 MR 模型的交互图

Fig. 3 Interaction diagram of MR model

Lambiotte 等^[14]用延迟的概念对 MR 模型进行了扩展,即投票人采纳了一种观点后,会暂时进入一种潜在状态,在这种状态下,他们不会受到其他选民的影响。Montes de Oca 等^[15]在 MR 模型中引入差异潜伏期的概念。在这里,投票人所采纳的观点决定了投票人潜伏的时间。

与 Voter 模型相比,该模型更能体现出现实中的人们选择观点的一种倾向,人们可能会跟随多数人的观点,而不会选择意见少的一方;而 Voter 模型只跟相邻的人进行交流,具有一定的局限性,尽管最后也能达成共识,但是达成共识的速度慢于 MR 模型。然而,MR 模型忽略了个人自己的观点和外界因素的干扰,如一些影响力很大的名人会直接影响人们的意见选择。该模型常在异构网络、超图上使用。

3.4 Sznajd 模型

1925 年, Sznajd^[16]提出了一种类似于磁铁体的最简单模型,即 Sznajd 模型。该模型的基本思想是当相邻的邻居意见一致时,将说服其周围的所有邻居支持他们的观点意见,这与铁磁性规则相似。Sznajd 模型的更新过程如图 4 所示(箭头向上代表正意见,箭头向下代表负意见)。

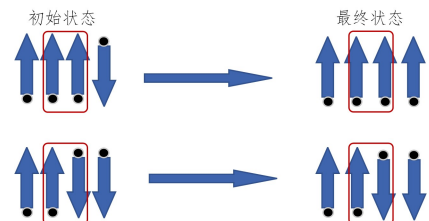


图 4 Sznajd 模型的交互图

Fig. 4 Interaction diagram of Sznajd model

代理人 i 的意见更新规则为:

如果一对代理人意见相同,即 $O_i \cdot O_{i+1} = 1$, 则附近邻居采取意见: $O_{i-1} = O_i = O_{i+1} = O_{i+2}$;

如果一对代理人的意见不相同,即 $O_i \cdot O_{i+1} = -1$, 则附近邻居就会接受第二个相邻代理人的意见: $O_{i-1} = O_{i+1}$, $O_i = O_{i+2}$ 。

该模型的优点是表达简单,内涵丰富,可以广泛应用;缺点是模型描述的是封闭(独立)的社区发展成两个相对的集群,无法做出任何的共同决策,意味着很难达成共识,要想达成共识,就必须依赖于独裁。这个模型很适合描述在疫情期间封闭的社区舆论情况,要想达到统一的共识,就需要有主导的力量引导人们达成一致的意见,否则就会出现不同的意见,引发不好的舆论,导致混乱。该模型常在随机网络、小世界网络、无标度网络等网络上使用。

4 连续意见动力学模型

4.1 经典连续意见动力学模型

在本节中,连续意见模型大多基于有限置信度的概念,它决定了代理人意见的变化,代理人与那些意见与他们自己的意见相当接近的人相互作用。这种模型经常被用来分析极端分子的出现。下面分别详细介绍几个经典的有限置信模型: DeGroot 模型、FJ 模型、DW 模型、HK 模型。

4.1.1 DeGroot 模型

由于现实生活中人们的意见表达不只是两种选择,应该有多种不同的选择,因此 DeGroot 于 1974 年^[17]在 French 模型的基础上进一步对“共识”的形成机制展开了探讨。他采用德尔菲(Delphi)法,即反馈匿名函询法,对专家意见进行反复征询,并提出平均化更新的方法来促成意见达成一致。

代理人 i 的更新规则:

$$O(t) = AO(t-1) \quad (2)$$

其中, A 是行随机矩阵的权重,权重决定了给定的代理人受任何其他代理人的影响程度。

与离散模型相比,该模型能更准确地表达现实中人们的意见,因为在现实中,人们的意见肯定不是只有两种,还有其他的选择,而这种连续意见模型就能很好地表达出人们的多种意见,而且它给每个代理人赋予一个随机权重 A 来代表其受到其他人的影响程度。然而,这种模型会导致代理人的更新意见完全取决于所信任的朋友,而忽略了自己的意见和外界的影响,具有一定的局限性。该模型适用于无标度网络。

4.1.2 FJ 模型

1990 年 11 月—1999 年 12 月, Friedkin 等^[18]在 DeGroot 模型的基础上进行了扩展,发现有些代理人不受外界的影响,即在它的基础上加入了顽固的代理人概念,从而提出了 Friedkin-Johnsen(FJ)模型。

代理人 i 的更新意见规则:

$$O(t+1) = dAO(t) + (1-d)O(t) \quad (3)$$

其中, $1-d$ 是代表代理人 i 的固执程度, A 是随机行矩阵。在

这个模型中,如果代理人只依附于他们最初的意见,即被称为顽固代理人 $1-d=1$ 。

与 DeGroot 模型相比,该模型就是在意见更新规则中多增加了一种顽固的代理人,这种代理人不会受到外界和其他人的影响,会一直坚持自己的意见。这种代理人有利有弊,利是不受外界干扰,弊是缺乏与其他人的交流。另外,该模型缺乏对普通代理人的研究,即普通代理人还是会受到外界的干扰且缺乏与非熟悉人的交流。该模型适用于无标度网络。

4.1.3 DW 模型

Deffuant 等^[19]提出了一个著名的有界置信模型,即 DW (Deffuant-Weisbuch)模型。其基本思想是随机选一个代理人,该代理人会选择一个意见与其相差不大的邻居进行意见更新,而他们的意见不需要完全一致,只要他们的意见差不超过信任界,就可以进行意见交流。

代理人 i 的意见更新规则如下:

$$\begin{cases} O_i(t+1) = O_i(t) + \mu \cdot l_{[0,r]}(|d_{ij}^{(t)}|) \cdot d_{ij}^{(t)} \\ O_j(t+1) = O_j(t) + \mu \cdot l_{[0,r]}(|d_{ij}^{(t)}|) \cdot d_{ij}^{(t)} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $l_{[0,r]}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \in \mathcal{A} \\ 0, & \text{if } x \notin \mathcal{A} \end{cases}$; l 代表是否在邻居的信任半径内; μ 是被称为学习参数或收敛参数;在任何给定时间, i 和 j 是随机选择的一对,且 $d_{ij}^{(t)} = O_i(t) - O_j(t)$ 。

与 DeGroot 模型和 FJ 模型相比,该模型具有优越性。它引入了信任半径的概念,使得代理人可以与信任半径内的任何其他代理人进行交流,而不仅仅局限于与朋友进行交流。这扩大了交流范围,与 DeGroot 模型和 FJ 模型只能在朋友之间进行交流的限制不同。然而,该模型的一个缺陷是每次只能与一个代理人进行交流。因此,它适用于描述大规模群体中的舆论动力学,其中个体之间进行小规模、一对一的交流互动。该模型通常应用于随机网络、全连接网络、小世界网络、无标度网络、现实网络等类型的网络。

4.1.4 HK 模型

经典的 Hegselmann-Klause(HK)^[20]模型也是有界置信模型,更新意见时,代理人只会和意见相差不太大的邻居交流,代理的意见是所有邻居意见的加权平均值,如果没有邻居,代理人会维持之前的观点。经典 HK 模型的表达式如下:

$$O_i(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{|\bar{N}_i(t)|} \sum_{j \in \bar{N}_i(t)} O_j(t), & \bar{N}_i(t) \neq \emptyset \\ O_i(t), & \bar{N}_i(t) = \emptyset \end{cases} \quad (5)$$

其中, $O_j(t)$ 代表邻居 j 在时间 t 的意见。代理 I 通过用平均邻居的意见来更新他的意见。 $\bar{N}_i(t)$ 表示可以与代理 I 通信的邻居的集合, $\bar{N}_i(t) = \{j \mid |O_i(t) - O_j(t)| \leq \epsilon_i, i \neq j\}$, 在这种情况下,代理人只会考虑那些意见在他自己的信任范围 ϵ_i 内的邻居。

该模型与 DW 模型类似,但也有区别:HK 模型完全由 ϵ 决定,而在 DW 模型中,除了 ϵ ,还必须确定收敛参数 μ ;HK 模型是与所有邻居一起交流,而 DW 模型只与一个邻居进行交流。HK 模型优于 DW 模型,因为 HK 模型采用的是自己

信任半径内的所有邻居意见的加权平均值,这样能得到一个更加真实的意见,更加符合实际人们多方面采集信息进行综合考虑的情况;而 DW 模型只与一个信任半径内的代理人交流。HK 模型的缺点是没有考虑信任区间异质的情况,适于描述比较正式的会议,在同一时间,很多人可进行有效的交流。该模型常在随机网络等网络上使用。

4.2 基于经典连续意见模型的改进模型

现如今很多研究者通过将以前经典的模型与现实相结合,对其进行了改进。大多数研究者试图从环境噪声、代理人之间的关系、收敛速度和对置信条件的改变等方面,对 HK 和 DeGroot 等一些经典模型进行了改进。

4.2.1 基于 HK 模型改进的 SSHK 模型

Chen 等^[21]在研究中发现,现有的意见动力学模型主要关注意见之间的相互影响,而忽略了个体之间社会相似性对意见交流的影响。事实上,个人与邻居之间的社会相似性也会对他们现实生活中的意见交流产生影响。因此,在 HK 模型的基础上引入一个社会相似性概念,改进得到 SSHK (Social-Similarity-Based Hegselmann-Krause) 模型。该模型有 N 个代理商,每个代理商都有意见 $X_i(t) \in [0, 1]$,并设置了社交属性。每个代理 i 根据如下公式更新其观点:

$$O_i(t+1) = \begin{cases} \lambda_i O_i(t) + \frac{1-\lambda_i}{|\bar{N}_i(t)|} \sum_{j \in \bar{N}_i(t)} O_j(t), & \bar{N}_i(t) \neq 0 \\ O_i(t), & \bar{N}_i(t) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中, $\bar{N}_i(t)$ 表示通信的邻居选择, $\bar{N}_i(t) = \{j | [\omega_s * (S_{ij} - S_{\text{threshold}}) + (1-\omega_s) * (|O_i(t) - O_j(t)| - \epsilon_i)] < 0, j \neq i\}$; ϵ_i 是置信区间; λ_i 是自信参数; $S_{\text{threshold}}$ 代表了代理之间的社会关系或信任程度,即社会相似性阈值; ω_s 代表了社会相似性的权重。

该模型比 HK 模型更优秀。SSHK 模型的优点是在原始的 HK 更新规则上考虑了个体与邻居交流社会相似性的影响,对信任区间进行了改进,增加了社会相似性,使其能够更加准确地描述代理人之间的交流,也能更好地描述现实网络代理人之间存在的关系;缺点是没有考虑网络结构的影响和其他外界干扰(如有影响力的人、领导人等)。该模型适用于全连接网络。

4.2.2 基于 HK 模型改进的 AMHK 模型

Xu 等^[22]考虑到现有的舆论动力学模型主要以研究普通代理人为主,把网络的代理人主要分为 3 类:意见领袖、有影响力的代理人和普通代理人;并发现在实际的社交网络中普通个体对具有影响力的人也存在影响,因此在 HK 模型中引入了主动情感动员概念,提出了基于 HK 的意见动态情感动员模型 AMHK (Affection Mobilization-Based Hegselmann-Krause)。

不同类型代理人的意见更新规则如下。

1) 意见领袖的意见更新规则:

$$O_i(t+1) = \alpha_1 O_i(t) + \beta_1 \frac{1}{n_{ij} n_{ij}} \sum O_j(t) + \gamma_1 \frac{1}{n_{ik} n_{ik}} \sum O_k(t) \quad (7)$$

2) 有影响力的代理人的意见更新规则:

$$O_d(t+1) = \alpha_2 O_d(t) + \beta_2 \frac{1}{n_{de} n_{de}} \sum O_e(t) + \gamma_2 \frac{1}{n_{df} n_{df}} \sum O_f(t) \quad (8)$$

3) 普通代理人意见更新规则:

$$O_p(t+1) = \alpha_3 O_p(t) + \beta_3 \frac{1}{n_{pq} n_{pq}} \sum O_q(t) + \gamma_3 \frac{1}{n_{pr} n_{pr}} \sum O_r(t) + \lambda_3 \frac{1}{n_{ps} n_{ps}} \sum O_s(t) \quad (9)$$

该模型相比 HK 模型的优点在于把网络中的代理人分成了普通代理人、领袖、有影响力的代理人,这更加符合现实网络社会人员的结构分布。不仅如此,还重点考虑了普通代理人可以通过主动情感动员来影响有影响力的代理人,这是其他模型没有的,一般都是只能有影响力的代理人影响普通代理人,而没有考虑普通代理人也可以影响到有影响力的代理人。这为以后研究舆论动力学模型提供了新的方向。然而,其没有考虑噪声的影响。该模型适用于无标度网络和小世界网络等网络。

4.2.3 基于 HK 改进的 HKML 模型

Xu 等^[23]发现不同的代理人在获取和分析信息方面存在差异,代理人的媒介素养差距对意见演变也有一定的影响,因此基于 HK 模型,引入了媒介素养^[24]概念,并提出了 HKML 模型。该模型中的代理人不仅要考虑信任度,还要考虑媒介素养因素。

意见更新规则:

$$O_i(t+1) = \begin{cases} \alpha_i O_i(t) + \frac{1-\alpha_i}{|\bar{N}_i(t)|} \sum_{j \in \bar{N}_i(t)} O_j(t), & \bar{N}_i(t) \neq 0 \\ O_i(t), & \bar{N}_i(t) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

其中, $\bar{N}_i(t)$ 代表的是邻居选择, $\bar{N}_i(t) = \{j \in V \cap j \neq i | (W_m * (|M_i - M_j| - M_{\text{threshold}}) + (1 - W_m) * (|O_i(t) - O_j(t)| - \epsilon_i)) < 0\}$; M_i 代表代理 i 的媒体素养; $M_{\text{threshold}}$ 代表代理人可以接受的媒体素养下限; W_m 代表媒介素养对代理人意见变化的权重, $1 - W_m$ 为置信集的权重。

该模型与 HK 模型相比,优点在于代理人增加了媒介素养;且该模型与 SSHK 模型类似,也是对置信区间进行了改进,只是改进的方式不一样。SSHK 模型在置信区间中增加了一个社会相似性,而 HKML 模型是在置信区间中增加了媒介素养,这样代理人可以准确选择出有影响力的邻居并与之进行交流,提高了代理与其邻居之间沟通的有效性。然而,该模型也并不能抵御很复杂的环境噪声影响,只能不受轻微环境噪声的影响。该模型适用于完全连接网络。

4.2.4 基于 HK 模型改进的 CS 模型

现阶段的大多数意见动力学模型中,人们只考虑个人通过与其他个人的互动来更新自己的观点,从认知角度看,代表了个体场依存的认知方式,在这种情况下,场独立的认知风格被忽略了。为此,Chen 等^[25]在意见动力学模型中考虑了这两种认知风格,并提出了一个基于认知风格的动力学模型 CS (Opinion Dynamics Model Based on Cognitive Styles)。

更新意见规则:

$$O_i(t+1) = c \cdot [\omega \cdot O_i(t) + (1-\omega) \cdot O_i(t-1)] + (1-c) \cdot \frac{1}{|N_i|} \sum_{j \in N_i} O_j(t) \quad (11)$$

$$N_i(t) = \{j \in V \mid |x_i(t) - x_j(t)| \leq \epsilon_i\} \quad (12)$$

其中, ω 是一组经验参数, 代表了在 t 时刻代理人的经验权重; c 是一组认知参数, 代表了个人认知风格的趋势。

该模型与 HK 模型相比, 优点在于引入了一个认知概念。查阅牛津词典可知, 认知是通过思想、经验和感官获得知识和理解的心理活动或过程^[26]。然而, 认知方式分为场依存和场独立两种, 这样的代理人具有了思维和记忆, 更加符合现实中人们所具有的特性, 而 HK 模型没有考虑这点, 且后面的所要介绍的 CODA 模型也没有考虑到这点。这个概念很快被用于很多领域, 一些研究学者把认知用于心理学领域研究^[27-29], 在教育领域也有广泛研究^[30-32]。但该模型只考查个体经验维度来简化个体场独立的认知风格, 应该在额外的维度上考虑个人在意见动态中的场独立认知风格, 以使模型更加丰富和现实。该模型适用于全连接网络。

4.2.5 基于 DeGroot 改进的两步交流意见动力学模型

现有的意见动态模型大多没有考虑到一个代理人可能也会受到其朋友的朋友影响, 对于以上问题, Zhou 等^[33] 提出了一个基于经典 DeGroot 模型的两步交流意见动力学模型。

代理人 i 的意见更新规则:

$$O_i(t+1) = \alpha_i O_i(t) + \sum_{j=1}^n w_{ij} O_j(t), t=0, 1, 2, \dots \quad (13)$$

其中:

$$w_{ij} = \begin{cases} (con_i * INF_j - \tilde{w}_{ij}) * r + \tilde{w}_{ij}, & v_i \in \tilde{I}(v_j) \\ con_i * INF_j * r, & v_j \in I_1'(v_i) \\ \frac{(con_i * INF_j * r)}{2}, & v_j \in I_2'(v_i) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$r \in [0, 1]$ 为网络中的沟通指数, 表示 v_i 愿意听取代理人意见的程度; INF 代表的是 v_i 的影响指数, 影响指数是包括主观自我坚持度和客观节点度的综合指数。

该模型与原始的 DeGroot 模型相比, 优点在于扩大了代理人信任的范围, 让代理人可以与更多代理人进行交流, 而且更重要的是重新更加精确地定义了一个新权重, 让代理人具有更多交流。但是, 其没有考虑外部噪声的影响。该模型适用于小型网络结构。

4.3 嘈杂意见动力学模型

现在人们被大量的外部信息所轰炸。“外部”在这里也指噪音, 这些信息来自于个体交流之外的其他来源。当今社会是一个大众传媒发挥着基础性作用的世界, 为了了解在给定的刺激下实现人群的行为变化是否可行, 必须考虑有外部信息来源的模型。到目前为止, 科学界已经在这方面做出了一些努力, 但在上一节中所介绍的模型没有考虑外部噪声的影响, 仍然存在一些局限性。因此, 接下来对利用外部信息源建立几个经典意见动态模型的最新进展进行回顾。

4.3.1 带有噪声的 DeGroot 模型

为了研究社交网络中其他外在元素对意见形成的影响,

Samuel 等^[34] 在原始连续意见动态模型中加入随机环境。该随机环境不仅代表了影响观点的社会影响之外的任何外部因素的集合, 还代表了非确定性行为的内生来源, 这个随机环境也称为噪声。

意见更新规则:

$$O_i = A O_{i-1} + \xi_i \quad (14)$$

其中, ξ_i 是随机变量, 可以被认为是影响人们观点的各种特质因素的集合。

该模型与 DeGroot 模型相比, 优点在于考虑了随机环境, 把外在的环境影响纳入了考虑范围, 这样更加符合现实网络中人们所处环境存在的外界影响。该模型的缺点是代理人交流的范围很小, 只是与亲近的朋友交流, 应该扩大交流范围。

4.3.2 带有噪声的 FJ 模型

Konovalchikova 等^[35] 认为, 在意见形成过程中, 噪声扮演着重要的作用, 为此在 FJ 模型中加入了噪声系数, 即均匀程度不同的噪声。

意见更新规则:

$$O_i(t+1) = dA O_i(t) + (1-d) O_i(0) + \xi_i(t) \quad (15)$$

其中, 噪声 $\xi_i(t)$ 是分布函数为 f 的独立同分布随机变量。

该模型与 FJ 模型相比, 优点在于考虑了外在环境对代理人的影响, 并且发现在不均匀的噪声环境下很难达成共识, 而在均匀的噪声环境下能促使达成共识。其缺点是代理人类型单一, 只考虑了顽固代理人, 没有考虑其他类型的代理人(如有影响力的代理人、领袖代理人等)。

4.3.3 带有噪声的 HK 模型

为了使连续意见动力学模型更加真实, Pineda 等^[36] 在 HK 模型中引入了随机性的附加元素, 这种新的成分被解释为“自我思考”或者自由意志, 也可以称为噪声。然而, Su 等^[37] 在环境嘈杂的 HK 模型中对意见动态的一致行为进行了严格的理论分析, 发现当噪声强度不大于置信阈值的一半时, 具有任意初始状态的噪声 HK 模型几乎都能在有限时间内实现准一致性; 否则, 即使是聚集的意见也会产生分歧。

意见更新公式:

$$O_i(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{|N_i(t)|} \sum_{j \in N_i(t)} O_j(t), & \overline{N_i}(t) \neq 0 \\ O_i(t), & \overline{N_i}(t) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

$$O_i^*(t+1) = O_i(t+1) + \xi \quad (17)$$

其中, $O_i(t+1)$ 代表原始的 HK 模型, ξ 代表随机噪声。

该模型与 HK 模型相比, 优点在于加入了一种具有“自我思考”的噪声, 让代理人具有自我意志, 且发现适当的噪声可以促使意见达成共识; 缺点是只是对普通的代理人进行了研究, 没有考虑到现实社会中存在不同类型的代理人(如有影响力的代理人、领导代理人等)。

5 混合动力学模型

为了使模型能够模拟真实社会网络中人们意见的演化

规律,研究人员提出了不同的混合模型,包括把连续意见和离散行动相结合的 CODA 模型、线上网络和线下网络相结合的 (online-offline)模型、意见融合和意见传播相结合的 HK-SIER 耦合模型等。

5.1 CODA 模型

2008 年, Martins^[38] 提出了连续意见和离散行动模型 CODA(Continuous Opinions and Discrete Actions)。该模型是个体通过观察他人的外部离散行动后更新其内部连续意见。

$$\begin{cases} l_i(A | \sigma_j = +1) = \ln(O_i(A | \sigma_j = +1)) = \ln\left(\frac{P_j(A | \sigma_j = +1)}{P_j(B | \sigma_j = +1)}\right) = \ln\left(\frac{p}{1-p} \cdot \frac{\alpha}{1-\beta}\right) = l_i(A) + v \\ l_i(A | \sigma_j = -1) = \ln(O_i(A | \sigma_j = -1)) = \ln\left(\frac{P_j(A | \sigma_j = -1)}{P_j(B | \sigma_j = -1)}\right) = \ln\left(\frac{p}{1-p} \cdot \frac{1-\alpha}{\beta}\right) = l_i(A) - v \end{cases} \quad (19)$$

其中, $O_i(A | \sigma_j = +1)$ 代表观察到邻居 j 的行为后, 代理人 i 选择 A 的后验概率; $O_i(A | \sigma_j = -1)$ 代表观察到邻居 j 的行为后, 代理人 i 选择 B 的后验概率。

该模型与前面的连续意见模型相比, 优点在于代理人不仅仅是通过语言上的交流更新意见, 还通过观察其他人的外在动作来更新内部意见, 并通过用贝叶斯来描述这个过程。但其缺点是这是一个静态的、只是无记忆规则地改变自己的观点, 没有考虑到代理人的思想和行为随着他们不同经验的累积而不断变化; 而且在交互过程中, 代理人在观察另外一个代理人的行为时获得的信息不一定是真正的行为选择, 有可能是伪行为。该模型适用于完全连接图。

5.2 在线-离线动力学 (online-offline) 模型

随着信息和互联网技术的发展, 舆情在线上传播的速度加快了, 但并不意味着线下就没有舆情的传播, 在实际的社交网络中舆情既会在上传播, 也会在线下传播。然而以往的意见动力学模型大多是对在线网络进行的研究, 而忽略了离线网络的影响。对此, Dong 等^[39] 把两者结合起来, 提出了在线-离线动力学模型。

该模型的沟通机制分为 3 步。

1) 离线代理人只能与其社交网络中的邻居通信, 所以用 DeGroot 模型来模拟离线代理人的意见交流。因此, 离线代理 I 在时间 t 的置信集 $I(i, t)$ 被确定为:

$$I(i, t) = \{j | a_{ij} = 1, j \in V\} \quad (20)$$

2) 信息和通信技术的发展促进了在线代理人通过在线社交网络表达其意见, 并与持有相似意见的其他在线代理人进行交流。因此, HK 模型被用来模拟在线代理人之间的意见交流。在这个模型中, 通过两个部分确定了在线代理 I 在时间 t 的置信集 $I(i, t)$:

$$I_1(i, t) = \{j | a_{ij} = 1, j \in V\}, I_2(i, t) = I(i, O^t) = \{j | |O_i - O_j| \leq \epsilon, j \in V^{on}\} \quad (21)$$

3) 此外, 在线代理和离线代理之间通过社交网络 S 中的邻居关系进行通信。

最后, 代理人 I 将信任值 $\alpha_i \in [0, 1]$ 赋予其自己的意见, 并将 $1 - \alpha_i$ 分配给其的信任集 $I(i, t)$ 中的其他代理人。

O_i^{t+1} 的更新意见规则如下:

$$O_i^{t+1} = \alpha_i O_i^t + \frac{1 - \alpha_i}{\# I(i, t)} \sum_{j \in I(i, t)} O_j^t \quad (22)$$

意见更新规则如下。

代理人 i 的先验意见表示:

$$l_i = \ln(O_i(A)) \quad (18)$$

其中, $O_i(A) = \frac{P_i(A)}{P_i(B)} = \frac{p}{1-p}$, $O_i(A)$ 代表代理人 i 对 A 的信任和 B 的信任之间的比率, p 代表代理人 i 对 A 选择的概率, $1 - p$ 是对 B 选择的概率。

代理人 i 与邻居 j 交互后的后验意见表示:

其中, $\# I(i, t)$ 表示置信集 $I(i, t)$ 的基数。如果 $I(i, t)$ 是一个空集合, 那么 $O_i^{t+1} = O_i^t$ 。

与前面的单一网络模型相比, 该模型把代理人在线网络和离线网络两个网络结构结合起来, 可以更全面地描述个体在整个网络中所扮演的角色。然而, 其缺点在于在离线状态下, 采用 DeGroot 模型来进行模拟不太适合, 因为在离线状态下个人也不只是和亲近的朋友交流, 而且没有考虑离线和在线交互的异步性。

5.3 DeGroot-Friedkin 模型

随着社会的发展, 社交网络中存在一些社会权利高的人对舆论导向的影响, 为此, Jia 等^[40] 研究了一系列问题上的个人意见动态形成和影响网络中社会权利的演变, 并提出了 DeGroot-Friedkin 模型。该模型结合了描述意见形成过程和反映评价机制的 DeGroot 模型以及描述个人自我评价和社会权力的动态的 Friedkin 模型。

意见更新公式为:

$$O(s, t+1) = \mathbf{W}(x(s)) O(s, t) \quad (23)$$

其中, 权重矩阵 $\mathbf{W}(x(s))$ 由自我评价和社会权力组成, 即 $\mathbf{W}(x(s)) = \text{diag}(x(s)) + (I_n - \text{diag}(x(s))) C$ 。

该模型与 DeGroot 模型相比, 优点在于考虑了现实网络中社会地位很高的人, 也就是具有很大影响力的人, 能够在很大程度上影响人们的意见; 缺点是该模型只能适用于中小型的社会群体。该模型适用于有影响力的网络。

5.4 HK-SIER 耦合模型

目前对舆论演化的研究大多将意见融合和意见传播视为两个独立的过程, 很少探讨两者之间的内在联系, 而实际上在舆论传播过程中伴随着意见的变化, 意见的变化反过来又会影响舆论的传播。Li 等^[41] 发现这个内在的联系后, 提出了第一个 HK-SIER 耦合模型。

HK-SIER 更新规则:

$$O_i^{t+1} = \sum_{j=1}^k w_{ij}(t) (Inf_{ij} + T I_j) O_j^t, j \in U_i(k) \quad (24)$$

$$\begin{cases} S(t) = C_1 e^{-t} \\ E(t) = e^{-\int (\beta F_j^i + \gamma T I_j) dt} \left(\int S(t) e^{\int (\beta F_j^i + \gamma T I_j) dt} dt + C_2 \right) \\ I(t) = e^{-\int (\text{Nor}(T P_i)) dt} \left(\int \beta F_i E(t) e^{\int (\text{Nor}(T P_i)) dt} dt + C_3 \right) \\ R(t) = 1 - S(t) - E(t) - I(t) \end{cases} \quad (25)$$

其中, Inf_{ij} 代表用户 i 对用户 j 话题的影响, TI_i 代表话题兴趣, w_{ij} 代表用户 i 对用户 j 的权重。 $\beta F_j, \gamma T_i, Nor(TP_i)$ 分别表示从暴露状态 I 到感染状态 E 、暴露状态 E 到移除状态 R 以及感染状态 I 到移除状态 R 的转变的调整参数。 C_1, C_2 和 C_3 分别代表积分过程中产生的常数。与 SEIR 模型和 HK 模型相比, HK-SEIR 模型更贴近真实的舆论演化。

该模型与 HK 模型相比, 优点是把意见动力学模型和传染病模型相结合, 用意见动力学模型描述个人的意见更新, 用传染病模型描述信息的传播, 两者相结合可以更好地模拟现实的舆论的走向; 缺点是只考虑了代理人表达意见都是真实的情况, 没有考虑代理人虚伪的情况, 表达不真实也会导致意见融合的不同, 从而导致舆论传播也会发生改变, 影响对舆论走向的准确预测。该模型适用于大型网络。

6 其他模型

6.1 阻尼振子模型

Dong^[42] 认为现有的意见动力学模型很少研究情绪发展预测问题, 即便有少数的研究, 模型也相对简单, 并不能进行实时预测, 且没考虑到情绪自衰减的因素, 因此提出一种类似于物理中弹簧的原理来模拟情绪的自衰减过程的阻尼振子模型(DOM)。

DOM 模型如下所示:

$$-(k \cdot emo)_{N \times 1} - (\eta \cdot \dot{emo})_{N \times 1} + F_{N \times 1} = (m \cdot \ddot{emo})_{N \times 1} \quad (26)$$

其中, $F_{N \times 1} = \sum (H)_{N \times N} \cdot (Post)_{N \times 1} \cdot emo'_{N \times 1}$, emo 是在区间 $[-10, 10]$ 内随机初始化的代理的情绪值; \dot{emo} 和 \ddot{emo} 分别测量情绪的位移速度和位移加速度; emo' 是其他代理的情感值; k 是弹簧系数, 代表环境的主动属性; η 为阻尼系数, 代表导致网络舆情的话题敏感度。

然而, 事实是, 除了在网上发表评论的个人之外, 也有更多的人从网上或线下交流中获取新闻, 但不在网上发表意见, 出现这种现象的原因可以归结为一个情感批判问题。换句话说, 只有情感值达到临界值的代理人才更喜欢表自己的意见。因此, 在该模型中再加入一个情感临界值 $\gamma (\gamma > 0)$ 。

$$post_u = \begin{cases} emo_{u-1}, & |emo_{u-1}| \geq \gamma \\ 0, & |emo_{u-1}| < \gamma \end{cases} \quad (27)$$

此外, 情绪随时间变化的情况如下:

$$\begin{aligned} \dot{emo}_u &= \dot{emo}_{u-1} + \dot{emo}_u \\ em o_u &= emo_{u-1} + \frac{1}{2} (\dot{emo}_{u-1} + \dot{emo}_u) \end{aligned} \quad (28)$$

这个模型很特殊, 与其他模型的研究点不一样, 前面所提到的模型是针对代理人之间的不同交流来更新意见, 而这个模型是研究人们的情绪变化从而影响意见表达, 这也是它的优点所在, 即考虑了人们的情绪对意见的影响, 为以后研究舆论动力学模型增加了一个新的着力点, 可以考虑把代理人的情绪加入到以后的研究模型中。但其缺点是没有考虑代理人

之间的交流的影响, 只考虑了代理人自己的情绪。该模型适用于无标度网络。

6.2 ODCD 模型

Li 等^[43] 基于以前提出的舆论动力学模型, 发现在实际的意见动态中, 一些主体可能会表现出认知失调的行为, 而且现有的意见动态模型在更新联系方面缺乏合理性, 因此提出了基于认知失调的意见动力学模型 (Opinion Dynamics model based on the Cognitive Dissonance, ODCD)。ODCD 由两部分组成: 更新意见和更新连接。

1) 更新意见

$$O_i(t+1) = \sum_{j=1}^N W_{ij}(t) O_j(t+1), i=1, 2, \dots, N \quad (29)$$

其中, $w_{ij}(t)$ 是代理人 A_i 分配给代理人 A_j 的权重, 公式如下:

$$w_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{1}{\#I(A_i, X(t))}, & A_j \in I(A_i, X(t)) \\ 0, & A_j \notin I(A_i, X(t)) \end{cases} \quad (30)$$

其中, $\#I(A_i, X(t))$ 表示集合 $I(A_i, X(t))$ 中的代理人的数量; $I(A_i, X(t))$ 是 A_i 在时间 t 的置信集; 当 $d_{ij}(t) = 1$ 时代理人 A_i 与 A_j 建立连接, 否则没有连接。

$$I(A_i, X(t)) = \{A_j | d_{ij}(t) \leq \epsilon, d_{ij}(t) = 1\}, i=1, 2, \dots, N \quad (31)$$

其中, $d_{ij}(t)$ 表示意见 $O_i(t)$ 与 $O_j(t)$ 之间的距离:

$$d_{ij}(t) = |O_i(t) - O_j(t)|$$

2) 更新链接

(1) 为了消除这种不舒服的感觉, 代理人拒绝与和自己意见有较大差异的人交往。因此, 在这种情况下, 代理人 A_i 与 A_j 之间的连接, 在 $t+1$ 时刻更新为:

$$b_{ij}(t+1) = \begin{cases} 0, & d_{ij}(t) > \epsilon, b_{ij}(t) = 1 \\ 1, & d_{ij}(t) \leq \epsilon, b_{ij}(t) = 1 \end{cases} \quad (32)$$

(2) 代理人建立更多的联系来支持他们的观点。这种情况需要代理人感知更多代理人的意见。因此, 在这种情况下, 代理人 A_i 与 A_j 之间的连接在 $t+1$ 时刻更新为:

$$b_{ij}(t+1) = \begin{cases} 0, & d_{ij}(t) \geq \epsilon, d_{ij}(t) = 0 \\ 1, & d_{ij}(t) \leq \epsilon, A_k \in I(A_i, X(t)) \cap I(A_j, X(t)) \text{ and } b_{ij}(t) = 0 \end{cases} \quad (33)$$

该模型的优点在于考虑了代理人的认知失调行为 (现有的研究中很少考虑认知失调行为), 而且代理人在普通可信代理人的基础上建立新的连接, 克服了现有观点动态模型中更新连接的局限性; 缺点在于没有考虑外在噪声的影响。该模型适用于随机网络。

7 舆论动力学模型总结

现今舆论动力学模型大多都是基于经典动力学模型进行改进, 而各模型的基本构成要素大致相同, 由意见表达格式、意见融合规则和意见动态环境 3 个部分组成, 因此把舆论动力学模型主要分为 4 类: 离散意见动力学模型、连续意见动力学模型、混合动力学模型、其他动力学模型。详细的分类情况如表 1 所列。然而随着信息的爆发和复杂网络的变化, 实际

中人们接受到的信息存在更多的不确定性,所以在诸多不确定因素影响下,学者们不断对模型进行演化和改进,根据舆论趋势和特点,找到舆论发展的规律。这些模型综合考虑了代理人的行为、代理人的初始状态、代理人的特点以及意见表达

期间的环境因素,以更贴近模拟实际社会网络中的舆论演化过程。表 2 对上述的大部分舆论动力学模型进行了综合比较分析,包括类型、意见动态环境、意见表达式和缺陷以及主要结果。

表 1 舆论动力学模型的分类

Table 1 Classification of public opinion dynamics models

舆论动力学模型	分类	特点
离散动力学模型	Voter 模型	每个代理的意见被表示为一个二元变量,代理人将随机选择一个邻居并更新他/她的意见
	Majority Rule 模型	每个代理的意见被表示为一个二元变量,代理人将会跟随大多数邻居意见更新他/她的意见
	Sznajd 模型	每个代理的意见被表示为一个二元变量,当相邻的邻居意见一致时,将说服其周围的邻居支持其观点
经典连续意见动力学	DeGroot 模型	每个代理人意见在 $[0,1]$ 区间内,代理人的意见完全取决于他/她信任的朋友和自己
	FJ 模型	每个代理人意见在 $[0,1]$ 区间内,只是在网络中存在某种特殊的代理人即顽固代理人,其不受外界的影响,只会坚持自己的初始意见
	DW 模型	每个代理人意见在 $[0,1]$ 区间内,一个代理人与另外一个代理交流,只需要在其信任区间内就行
	HK 模型	每个代理人意见在 $[0,1]$ 区间内,代理的意见是所有邻居意见的加权平均值,如果没有邻居,代理人会维持之前的观点
	基于 HK 模型改进的 SSKH 模型	每个代理人意见在 $[0,1]$ 区间内,在 HK 模型基础上引入了社会相似性概念
连续动力学模型	基于 HK 模型改进的 AMHK 模型	每个代理人意见在 $[0,1]$ 区间内,在 HK 模型中引入了主动情感动员概念
	基于 HK 模型改进的 HKML 模型	每个代理人意见在 $[0,1]$ 区间内,基于 HK 模型引入了媒介素养概念
	基于 HK 改进的 CS 模型	在代理人中引入了一个认知概念
	基于 DeGroot 改进的两部交流意见动力学模型	每个代理人意见在 $[0,1]$ 区间内,与 DeGroot 模型相比,该模型扩大了代理人的信任范围
	带有噪声的连续意见模型	带有噪声的 DeGroot 模型 带有噪声的 FJ 模型 带有噪声的 HK 模型
混合模型	CODA 模型	代理人通过观察他人的外部离散行动后更新其内部连续意见
	在线-离线动力学模型	用 DeGroot 模型模拟离线代理人 i ,用 HK 模型来模拟在线代理人 i 。
	DeGroot-Friedkin 模型	把描述意见形成过程和反映评价机制的 DeGroot 模型和描述个人自我评价和社会权力的动态的 Friedkin 模型相结合。
其他模型	HK-SIER 耦合模型	把意见融合模型与传播模型相结合
	DOM 模型 ODCD 模型	在代理人中引入了情绪概念 在代理人中引入了认知失调的概念

表 2 不同舆论动力学模型的综合分析

Table 2 Comparative analysis of different public opinion dynamics models

模型	类型	意见动态环境	意见表达式	目标选择	缺陷	结果
Voter model	离散	规则格中的代理	$\{-1, +1\}$	随机选择一个代理	过于片面,意见只有两种状态:积极和消极。现实中的人们意见不仅只有支持和反对	研究人员已经证明,对于晶格的任何维度,VM 都会导致两种可能的共识状态(0 或 1)之一。达成这一状态的概率取决于意见的初始分布
Majority model	离散	规则格中的代理	$\{-1, +1\}$	取 $G=2, d=1$ 个团(d 是晶格的维数)	忽略了个人的意见,只考虑大众的意见	在一维晶格中,相邻的对立意见选民之间的界限随着时间的推移而衰减;在超级晶体系格上,总是达成共识
Sznajd model	离散	一维格中的代理	$\{-1, +1\}$	随机选择一对代理 $(i, i+1)$	社交网络的舆论传播并非是封闭的,无法准确地预测实际的舆论演化	与其他模型不同,该模型中描述的封闭(孤立)社区发展成两个相对的集群,无法做出任何共同的决策,这意味着达成共识必须依靠独裁。
DeGroot model	连续	在一个组中代理人完全连接	I 主观概率, f_i 属于 $[0,1]$	无选择,所有代理同时更新	随着社交平台复杂度的增加,舆论的传播形式多样化,该模型已经不能准确地描述舆论演化过程	DeGroot 模型中的共识是一个线性过程,即初始意见向量与行和为 1 的权重矩阵 \mathbf{p} 相乘。因为这基本上是一个马尔科夫链,共识总是会达成的
FJ model	连续	在一个组中代理人完全连接	鉴于数字	集体的意见更新	只能用于一些小规模群体进行分析	FJ 模型包含了人际影响研究的各种情况。它表明,每个情况都涉及一个单一的人际影响过程,在不同的结构背景下会产生不同的结果
DW model	连续	—	$[0,1]$	随机选择一对代理人	代理人只和与其意见相差不是很大的一个邻居通信,现实中人们不可能只与一个邻居交流;而且不能证明个体意见值的突变,而真实社会网络中个体意见的变化是非线性的	基于模型的更新规则,模型中的代理人稳定意见将始终保持平均的初始意见。而对于个体而言,当置信条件 $d=0.5$ 时,所有的 α 代理人都会保持相同的意见 $1/2$ (他们的初始意见服从标准正态分布),这是完全一致的;当 $d < 0.5$ 时,两个或多个群体将存活下来
HK model	连续	—	$[0,1]$	无选择,所有代理同时更新	每个个体只与那些观点与自己足够接近的个体互动,而现实个体也可能间接与其他个体进行互动	该模型与 Deffuant 模型类似,在 HK 模型中,一个较大的 d 会产生较少的集簇,当 d 足够大时,就会达成共识
SSHK model	连续	—	$[0,1]$	无选择,所有代理同时更新	忽略了网络拓扑结构的影响	与传统 HK 模型相比,SSHK 模型可以在适当的社会相似性阈值下轻松达成共识,也就是说社会相似性也会影响舆论动态。社会相似性阈值的提高,将把观点从分散变为共识;社会相似性阈值的降低,几乎无法使意见达成共识。当把信心范围和社会相似性的影响性相比较时,前者对观点融合的影响要强于后者

(续表)

模型	类型	意见动态环境	意见表达格式	目标选择	缺陷	结果
AMHK model	连续	—	[0,1]	无选择,所有代理人同时更新	很难对实际的舆情的演化进行准确的预测	意见领袖和有影响力的代理人可以相互影响,他们都可以影响正常的代理人。当影响代理人的比例合适时,无论网络结构和代理数量如何,都可以达成共识。但当有影响力的代理人比例过大时,无论网络结构如何,最终的意见状态都是碎片化的
HKML model	连续	—	[0,1]	无选择,所有代理人同时更新	只考虑了代理人的媒介素养一个因素,然而实际的代理人会受到多种因素的影响	代理人在更新意见时会同时考虑邻居的信任度和媒体素养。当媒体素养权重和媒体素养阈值都较大时,无论置信度如何都可以达成共识,有效拓宽了代理人与其邻居之间的沟通可能性。随着媒介素养门槛的提高,代理人的意见会达成共识
CODA model	混合模型	方格中的代理人	代理人 i 支持 A 意见的概率为 $P_i(A) = p$ (支持 B 的概率为 $P_i(B) = 1 - p$); 代理人 i 投票给 $A, i = +1$ (投票给 $B, i = -1$)	随机选择一个代理人	只是无记忆规则地改变自己的观点,没有考虑到代理人的思想和行为随着他们不同的经验累积而不断变化	在 VM 和 Sznajd 模型中都应用了 CODA 规则,观察到有不同意见的清晰领域,表明这两种意见将在很长一段时间内共存。此外,在这些领域内以及在较小程度上的边界内,观点变得非常极端
在线-离线动力学模型	混合模型	—	用 DeGroot 模型模拟离线代理人 i , 用 HK 模型来模拟在线代理人 i	随机选择一个代理人	没有考虑到在线和离线代理之间交互时,异步性对意见形成的影响	该模型更加贴近现实实际的社交网络,它从在线和离线社交网络中反映了代理之间的交互机制,从而可以提高舆情管理的效率
DeGroot-Friedkin model	混合模型	—	代理人对事件 s 的意见为 $y(s) \in [0,1]$	无选择,所有代理人同时更新	只是对中小型的社会群体发挥着重要作用	该模型研究了一群人对一系列问题进行讨论并形成观点的个人的自我评价、社会权力和人际影响的演变
HK-SIER model	混合模型	—	用 HK 模型来表达意见融合,用 SIER 模型来表示舆论的传播	无选择,所有代理人同时更新	只是考虑代理人表达意见都是真实的情况,没有考虑代理人虚伪的情况,表达不真实也会导致意见融合的不同,从而导致舆论传播也会发生改变,舆论走向也会不同	该模型优于单独 SIER 模型、SIR, 更加接近真实舆论演化的规律

8 动力学模型的应用

近年来,基于舆论动力学模型的社交网络谣言传播、舆情控制和情绪传播等问题受到了学界的广泛关注,很多学者也提出了不同的应用模型。本章将介绍舆论动力学模型在不同的领域的应用。为了提高可读性,表 3 对舆论动力学模型在不同领域的应用进行了总结。

表 3 舆论动力学模型的应用

Table 3 Application of public opinion dynamics model

应用领域	模型或者特点	参考文献
在政治方面的应用	majority rule 模型	Wonczk ^[43]
	两种状态的 galam 意见动态模型	Galam ^[44]
	Sznajd 模型	Bernardes ^[45]
	Sznajd 模型	Costa-Filho ^[46]
	Sznajd 模型	Gonzale ^[47]
在市场和金融方面的应用	Voter 模型	Wang 等 ^[48]
	二元意见模型	Schulze ^[49]
	Sznajd 模型	Christian-Schulze ^[50]
	Sznajd 模型	Sznajd-Weron ^[51]
	DW 模型	Carletti ^[52]
	观点动态模型	Oster ^[53]
	意见动态的推荐系统	Castro 等 ^[54]
在舆情方面的应用	HK 模型	Wan 等 ^[55]
	意见领袖在群体意见形成中的影响力	Zhao 等 ^[56]
	Ising 模型	Sznajd-Weron 等 ^[57]
	majority rule 模型	Galam 等 ^[58]
	HK-SIER 耦合模型	Li 等 ^[40]
	DW 模型	McKeown 等 ^[59]
其他方面的应用	“意见流”的视觉分析系统	McKeown 等 ^[60]
	通过改变社会网络结构的方法来管理舆情	Wu 等 ^[61]
	CODA 模型	Sun 等 ^[62]
	二维 Sznajd 模型	Crokidakis ^[63]
	DW 模型	Amblard 等 ^[64]
其他方面的应用	车辆速度估计器的可靠性	E. Hashemi 等 ^[65]
	DW 模型	Ben-Naim ^[66]
	HK 模型	Su 和 Liu ^[67]

8.1 在政治方面的应用

Wonczk 等^[44]用 majority rule 模型,解释了多数决策投票的独裁统治。Galam^[45]研究了在“悬而未决的选举场景”中逆向思维者对动态的影响。Bernardes 等^[46]应用 Sznajd 规则和 Barabási-Albert 网络调查了巴西的选举结果。Costa-Filho 等^[47]通过 Sznajd 模型总结了巴西 1998 年选举中每个候选人的选票分布遵循幂律分布。Gonzalez 等^[48]研究了基于 Sznajd 模型的选举模型,发现了在过渡时期获得的选票分布指数与在巴西和印度的实际选举中获得的指数一致。

8.2 在市场和金融方面的应用

Wang 等^[49]通过 Voter 模型研究了中国股票指数的幂律分布情况。Schulze^[50]认为广告的影响可以在二元模型中通过改变意见的概率来进行模拟。Schulze^[51]基于 Sznajd 模型得出广告对产品在市场的营销有很大的影响;Sznajd-Weron 等^[52]利用 Sznajd 规则描述了金融市场中价格形成的机理。Carletti 等^[53]利用 DW 模型研究了宣传的效果。Oster^[54]提出了一个观点动态模型来描述股票和期权价格的形成,并展示了期权价格与实际数据的良好拟合。Castro 等^[55]提出了一种基于意见动态的推荐系统,以帮助用户在信息过载的情况下选择正确的产品或服务。Wan 等^[56]用 HK 模型来调查电子商务网络中的在线消费者的评论。Zhao 等^[57]研究了电子商务社区中一群自治代理人的交互机制,以及意见领袖在群体意见形成过程中的影响力。Weron 等^[58]提出了一个 Ising 模型来描述双头垄断市场中的广告机制。

8.3 在舆情方面的应用

Galam^[59]利用 majority rule 模型揭示了法国 9/11 事件的谣言。Li 等^[41]利用 HK-SIER 耦合模型研究了微博舆论的

传播。还有一些学者通过引入媒体、改变网络结构等技术对一些模型进行了改进,用这些模型对舆情进行监控。例如,McKeown等^[60]通过向DW模型中的社交网络添加额外的大众媒体传播层来展示社交模拟;Wu等^[61]引入了一个名为“意见流”的视觉分析系统,使分析师能够检测意见传播模式,并在社交媒体上收集见解。一些研究人员讨论了通过改变社会网络结构的方法来管理舆情,例如添加边和添加节点^[62]。

8.4 其他方面的应用

Sun等^[63]用CODA模型来研究社交互动中如何改变青少年对吸烟的看法和行为。Crokidakis^[64]考虑了大众媒体对二维Sznajd模型动力学的影响。Amblard^[65]用DW模型研究了极端主义的传播。Hashemi等^[66]提出了一种意见动态方法来提高车辆速度估计器的可靠性。Ben-Naim^[67]将DW模型与自发意见更新相结合。Su等^[68]基于HK模型研究了意见和互联网络的协同演化。

9 舆论动力学面临的问题以及展望

9.1 面临的问题

用数学模型的方法研究舆论动力学问题始于19世纪,随着舆论动力学的蓬勃发展,其内容也不断丰富和完善。学者们通过理论与现实的结合,综合考虑社交网络和代理人的属性特点,改进各种舆论动力学模型,以研究社交网络中谣言、在线网络中的舆情演化方向的问题,取得了大量的研究成果。然而现在仍然面临着一些问题需要解决。

1) 现今大多数的动力学模型都缺乏现实的数据验证,大多数都是在计算机上进行模拟的方法进行研究。

2) 很多模型所揭示的规律在很大程度上缺乏符合个体实际情况的特征。

3) 个体间相互作用的规则难以明确,个体间差异悬殊,很难精确地把握每个人的意见倾向。

4) 大多数模型的参数相对简单,难以根据实际数据进行优化,因此不能有效地根据实际情况进行预测。

5) 虽然意见动力学模型在金融和商业中已经得到了很多方面的研究,但是意见动力学模型的特点仍然是关注的焦点,结合其应用领域的特点还不够。

9.2 未来展望

9.2.1 从研究内容展望

舆论动力学模型是学界乃至社会关注的热点,新的理论和成果在不断的出现,但是也有很多新的问题等着我们去探索。针对社交网络上的舆论动力学问题,本文列出以下值得研究的方向。

1) 舆论动力学模型从最早的French^[69](1956年)模型到现在的混合模型,发展过程中的模型考虑影响主体的变量在不断增加。越来越多的模型考虑到了主体的媒介、情绪等因素的影响。如果在构建模型的过程中考虑到各种实际因素,例如代理人在不诚实的环境中,向不同的人表达不真实的意见,研究不真实的交流对意见形成的影响,将是很有意义的一项工作。

2) 研究社交网络的舆论演化,本身离不开对网络的研究。目前的研究大多数是以静态网络为基础。而随时间的演变,

动态网络分析舆论动力学机制还需进一步加强。

3) 受语言表示模型^[70]的启发,在现实中,代理人通常用语言表达意见,但是现有的大多数舆论动力学模型都是用数字来表示代理人意见表达,很少有人考虑用语言表达来建立舆论动力学模型。因此,有必要通过考虑语言互动的特点来研究意见动态。

4) 可以考虑将意见融合模型和流行病模型进行耦合(如HK与SIV进行耦合),以研究人们对接种疫苗的舆论分析。

5) 目前很多都是针对舆论演化进行的研究,很少有针对舆论引导的研究,也可以对这方面做些研究。

9.2.2 从应用方向的展望

虽然意见动力学模型在金融、舆情等多个方面都有研究,有助于我们了解不同情景下意见演变的规律和重要因素,但是还存在一些问题需要解决。以下给出了几点模型应用方面的研究方向:

1) 利用真实数据来研究意见融合,开发一个真实数据的意见动态模型将是一个有趣的课题。同时,在金融和商业领域研究意见动力学模型,也是一个不错的方向。

2) 在产品选择过程中,每个人的意见会发生变化,利用意见动力学模型研究成本最小的营销策略将是一个有趣的研究方向。

3) Ising是模拟股票市场的基本模型。因此,运用Ising模型从个性化的角度来研究金融领域是一个很有意义的课题。

4) 在市场营销中,口碑和广告对于市场营销很重要。因此,有必要研究具有不同意见表达形式的代理人的意见动态,尤其是使用语言术语进行的互动。这将使口碑效应和广告效应在市场营销中更具现实意义。

参 考 文 献

- [1] DUAN R. "Public opinion?" The historical origin of a concept [J]. *Journalism and Communication studies*, 2019, 11(1): 94-110.
- [2] SCHMELLER M. The political economy of opinion: Public credit and concepts of public opinion in the age of federalism [J]. *Journal of the Early Republic*, 2009, 29(1): 35-61.
- [3] LIU Y J. A review of public opinion dynamics model [J]. *Management Review*, 2013, 25(1): 1-10.
- [4] DONG Y C, ZHAN M, KOU G. A Survey on the Fusion Process in Opinion Dynamics [J]. *Information Fusion*, 2017, 43: 57-65.
- [5] CLIFFORD P, SUDBURY A. A model for spatial conflict. *Biometrika* [J]. *Biometrika*, 1973, 60(3): 581-588.
- [6] HOLLEY R, LIGGETT T. Ergodic Theorems for Weakly Interacting Infinite Systems and the Voter Model [J]. *Annals of Probability*, 1975, 3(4): 643-663.
- [7] VAZQUEZ F, REDNER S. Ultimate fate of constrained voters [J]. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 2004, 37(35): 1-10.
- [8] LAMBIOTTE R, REDNER S. Dynamics of vacillating voters [J]. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2007, 2007(10): 1-4.

- [9] LAMBIOTTE R, REDNER S. Dynamics of non-conservative voters[J]. *Europhysics Letters*, 2008, 82(1):1-5.
- [10] MASUDA N, GIBERT N, REDNER S. Heterogeneous voter models[J]. *Physical Review E*, 2010, 82(1):1-4.
- [11] MASUDA N, GIBERT N, REDNER S. Dynamics of confident voting[J]. *arXiv*:1111.3883v2, 2011.
- [12] SANDER L M. A Generalized Voter Model on Complex Networks[J]. *J Stat Phys*, 2009, 136:59-71.
- [13] GALAM S. Majority rule, hierarchical structures, and democratic totalitarianism: A statistical approach[J]. *Journal of Mathematical Psychology*, 1986, 30:426-434.
- [14] LAMBIOTTE R, SARAMAKI J. Dynamics of latent voters[J]. *Physical Review E*, 2009, 79:1-6.
- [15] DE OCAM A M, ERRANTE E, SCHEIDLER A, et al. Majority-rule opinion dynamics with differential latency: A mechanism for self-organized collective decision-making[R]. Technical Report TR/IRIDIA/2010-023, IRIDIA, 2010.
- [16] SZNAJD J. Opinion evolution in closed community[J]. *International Journal of Modern Physics C*, 2000, 11(3):1157-1165.
- [17] DEGROOT M H. Reaching a consensus[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1974, 69(345):118-121.
- [18] FRIEDKIN N E, JOHNSEN E C. Social influence and opinions[J]. *The Journal of Mathematical Sociology*, 1990, 15(3/4):193-206.
- [19] DEFFUANT G, NEAU D, AMBLARD F, et al. Mixing beliefs among interacting agents[J]. *Advances in Complex Systems*, 2000, 3(01n04):87-98.
- [20] HEGSELMANN R, KRAUSE U. Opinion dynamics and bounded confidence: models, analysis and Simulation[J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2002, 5(3):1-33.
- [21] CHEN X, ZHANG X, et al. Opinion Dynamics of Social-Similarity-Based Hegselmann-Krause Model[J]. *Complexity*, 2017, 2017:1-12.
- [22] XU H, AI K L, CAI H, et al. AMHK: A novel opinion dynamics affection mobilization-based Hegselmann-Krause model[C]// *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. 2020:3421-3426.
- [23] XU H, CAI H, WU S, et al. HKML: A novel opinion dynamics hegselmann-krause model with media literacy[C]// *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. 2020:52-57.
- [24] CHRIST W, POTTER W. Media literacy, media education, and the academy[J]. *Journal of Communication*, 1998, 48(1):5-15.
- [25] CHEN X, ZHAO S, LI W. Opinion dynamics model based on cognitive styles: Field-dependence and field-independence[J]. *Complexity*, 2019, 2019:1-12.
- [26] SCISALLY W, COLIN M, BEN F, et al. *Oxford English Dictionary*[M]. United Kingdom: Oxford University Press, 2004.
- [27] WITKIN H A. Field dependence and interpersonal behavior[J]. *Psychological Bulletin*, 1976, 1976(1):1-79.
- [28] GOODENOUGH D R. The role of individual differences in field dependence as a factor in learning and memory[J]. *Psychological Bulletin*, 1976, 1975(1):1-45.
- [29] MCKENNA F P. Measures of field dependence: Cognitive style or cognitive ability? [J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1984, 47(3):593.
- [30] RIDING R J, DYER V A. Extraversion, field-independence and performance on cognitive tasks in twelve-year-old children[J]. *Research in Education*, 1983, 29(1):1-9.
- [31] TINAJERO C. Field dependence-independence and academic achievement: A re-examination of their relationship[J]. *British Journal of Educational Psychology*, 1997, 67(2):199-212.
- [32] ANGELI C. Examining the effects of field dependence-independence on learners' problem-solving performance and interaction with a computer modeling tool: Implications for the design of joint cognitive systems[J]. *Computers & Education*, 2013, 62:221-230.
- [33] ZHOU Q Y, WU Z B. A two-step communication opinion dynamics model with self-persistence and influence index for social networks based on the DeGroot model [J]. *Information Sciences*, 2020, 519:263-381.
- [34] SAMUEL S, GIACOMO L. The impact of noise and topology on opinion dynamics in social networks [J]. *Royal Society Open Science*, 2021, 8(4):1-18.
- [35] KONOVALCHIKOVA E, DOROFEEVA Y A. Opinion dynamics models with noise[C]// *CEUR Workshop Proceedings*. 2020:176-190.
- [36] PINEDA M, TORAL R, HERNÁNDEZ-GARCÍA E. The noisy Hegselmann-Krause model for opinion dynamics[J]. *The European Physical Journal B*, 2013, 86:1-10.
- [37] SU W, GE C, HONG T G. Noise leads to quasi-consensus of Hegselmann-Krause opinion dynamics [J]. *Automatica*, 2017, 85:448-454.
- [38] MARTINS A C R. Continuous opinions and discrete actions in opinion dynamics problems[J]. *International Journal of Modern Physics C*, 2008, 19(4):617-624.
- [39] DONG Y, DING Z, CHICLANA F, et al. Dynamics of public opinions in an online and offline social network[J]. *IEEE Transactions on Big Data*, 2017, 7(4):610-618.
- [40] JIA P, MIRTABATABAEI A, FRIEDKIN N E, et al. Opinion dynamics and the evolution of social power in influence networks [J]. *SIAM Review*, 2015, 57(3):367-397.
- [41] LI Q, DU Y J, LI Z Y, et al. HK-SEIR model of public opinion evolution based on communication factors[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2021, 100:1-13.
- [42] DONG X F. The damped oscillator model (DOM) and its application in the prediction of emotion development of online public opinions[J]. *Expert Systems with Applications*, 2020, 148:1-16.
- [43] LI K, LI L. Opinion dynamics model based on the cognitive dissonance: An agent-based simulation[J]. *Information Fusion*, 2019, 56:1-28.
- [44] GALAM S, WONCZAK S. Dictatorship from majority rule voting[J]. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 2000, 18(1):183-186.
- [45] GALAM S. Contrarian deterministic effects on opinion dynamics: "the hung elections scenario" [J]. *Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications*, 2004, 333(1):453-460.
- [46] BERNARDES A T, STAUFFER D, KERTESZ J. Election re-

- sults and the Sznajd model on Barabasi network[J]. The European Physical Journal B, 2002, 25(1): 123-127.
- [47] COSTAFILH R N, ALMEIDA M P. Scaling behavior in a proportional voting process[J]. Physical Review E, 1999, 60(1): 1-2.
- [48] GONZALEZ M C, SOUSA A O, HERRMANN H J. Opinion formation on a deterministic pseudo-fractal network[J]. International Journal of Modern Physics C, 2004, 15(1): 45-57.
- [49] WANG T, WANG J, ZHANG J, et al. Voter interacting systems applied to Chinese stock markets[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2011, 81(11): 2492-2506.
- [50] SCHULZE C. Advertising in the sznajd marketing model[J]. International Journal of Modern Physics C, 2003, 14(1): 95-98.
- [51] SCHULZE C. Advertising in the Sznajd marketing model[J]. International Journal of Modern Physics C, 2003, 14(1): 95-98.
- [52] SZNAJD-WERON K, WERON R. A simple model of price formation[J]. International Journal of Modern Physics C, 2002, 13(1): 115-123.
- [53] CARLETTI T, FANELLI D, GROLLI S, et al. How to make an efficient propaganda[J]. Europhysics Letters, 2006, 74(2): 222-228.
- [54] OSTER E, FEIGEL A. Prices of options as opinion dynamics of the market players with limited social influence[J]. Quantitative Finance, 2015, 94(5): 591-596.
- [55] CASTRO J, LU J, ZHANG G, et al. Opinion dynamics-based group recommender systems[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2017, 48(12): 2394-2406.
- [56] WAN Y, MA B J. Opinion evolution of online consumer reviews in the e-commerce environment[J]. Electronic Commerce Research, 2018, 18: 291-311.
- [57] ZHAO Y Y, KOU G, PENG Y, et al. Understanding influence power of opinion leaders in e-commerce networks: An opinion dynamics theory perspective[J]. Information Sciences, 2018, 426: 131-147.
- [58] SZNAJD-WERON K, WERON R. How effective is advertising in duopoly markets? [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2003, 324(1): 437-444.
- [59] GALAM S. Modelling rumors: the no plane Pentagon French hoax case[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2003, 320: 571-580.
- [60] MCKEOWN G, SHEEHY N. Mass media and polarisation processes in the bounded confidence model of opinion dynamics[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2006, 9(1): 1-31.
- [61] WU Y, LIU S, YAN K, et al. Opinion flow: visual analysis of opinion diffusion on social media[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2014, 20(12): 1763-1772.
- [62] HAN H, QIANG C, WANG C, et al. Soft-control for collective opinion of weighted DeGroot model[J]. Journal of Systems Science and Complexity, 2017, 30(3): 550-567.
- [63] SUN R, MENDEZ D. An application of the Continuous Opinions and Discrete Actions(CODA) model to adolescent smoking initiation[J]. Plos one, 2017, 12(10): 1-11.
- [64] CROKIDAKIS N. Effects of mass media on opinion spreading in the Sznajd sociophysics model[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2012, 391(4): 1729-1734.
- [65] AMBLARD F. The role of network topology on extremism propagation with the relative agreement opinion dynamics[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2004, 343: 725-738.
- [66] HASHEMI E, PIRANI M, KHAJEPOUR A, et al. Opinion dynamics-based vehicle velocity estimation and diagnosis[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, 99: 1-7.
- [67] BEN-NAIM E. Opinion dynamics: rise and fall of political parties [J]. Europhysics Letters, 2005, 69(5): 671-677.
- [68] SU J M, LIU B H, LI Q. Coevolution of Opinions and Directed Adaptive Networks in a Social Group[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2014, 17(2): 1-4.
- [69] FRIEDKIN N E. A Formal Theory of Social Power [J]. The Journal of Mathematical Sociology, 1986, 12(2): 181-194.
- [70] MARTNEZ L, HERRERA F. An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges[J]. Information Sciences, 2012, 207: 1-18.



LIU Shuxian, born in 1978, master, associate professor. Her main research interests include public opinion analysis, blockchain security technology, machine learning, etc.



XU Huan, born in 1996, postgraduate. His main research interests include public opinion analysis and aspect-based sentiment analysis.

(责任编辑:柯颖)