

社会网络中的观点演化

张江波 西南石油大学

大到国家内部的稳定，小到小组内部的协作，人类协作互动在现实社会中无处不在。而追溯到中国古代，《易传》中就蕴含群体协作思想的精髓，“二人同心，其利断金”说明群体协作是战胜困难问题的关键。但直到近年来利用构建的社会网络模型，学者们才开始从理论上系统地研究社会网络中的协同和观点演化。



图1 社会协作行为

基于互联网技术在广大社会群体中的深入应用，群体中舆论导向越来越容易受到各种媒体观点、互联网言论等方面的影响，而群体舆论也对生产、消费等重要社会功能的正常运行具有重要的作用。了解并分析社会群体观点演化规律对于深入理解社会舆论状况，分析群体偏好以及帮助决策者基于符合特定社会群体的舆论演化规则来制定决策方案等都具有深远的意义。为了探索和理解社会群体观点演化的原理，从应用数学、物理学、计算机科学到社会科学等一大批相关研究者采用微分或差分方程、统计物理和博弈论等各种各样的建模方法来近似描述社会群体观点演化现象。例如，早期研究者们采用类似统计物理处理微观粒子的方法，随后采用多智能体系统的方法或复杂网络动力学方法来建模，仿真或分析以达到解释现实中群体观点演化现象的目的^[1]，

比如人群观点极化现象^[2]、观点对抗现象^[3]、股票市场涨跌和选民投票^[4]等。基于计算机科学、统计物理、社会学和经济学等众多学科研究人员的探索,一类以多智能体(Multi-agent)系统为框架来反映集群演化特征的观点动力学(Opinion Dynamics)得到了越来越多学者的青睐。从多智能体系统角度考虑,观点动力学主要研究的问题是微观社会个体的局部观点相互作用如何演化出群体观点收敛,同步和波动等宏观社会层面的舆论现象,其典型问题是哪些微观个体观点相互作用法则能够演化出特定的宏观社会群体的复杂舆论现象。

由于社会心理学现象“选择性排除”(Selective Exclusion)广泛存在,即当两个个体观点足够接近时相互交流观点,而如果两个观点相距甚远则各自观点保持不变,观点动力学的研究者们利用这一心理学现象,构建了有限信域(Bounded Confidence)的观点动力学模型。有限信域观点动力学模型主要分为 Deffuant-Weisbuch (DW) 模型^[5]和 Hegselmann-Krause (HK) 模型^[6]。有限信域观点动力学的发展刚刚起步,而非有限信域观点动力学成果已较为丰富。例如,投票者模型^[6]、流言传播模型^[10]以及基于统计推断的贝叶斯网络上的观点动力学模型^[11]等。当前有限信域观点动力学的研究现状是提出各类刻画一定社会现象的模型,分析和仿真这些模型并与现实群体观点演化特征相比较。

一、基于图的观点动力学

本节我们将重点介绍基于图的观点动力学的发展历史。

早期的观点动力学研究以及相当一部分当代的观点动力学研究都是属于非有限信域类型。由于模型分析相对有限信域观点动力学模型较为简

单,因此这类模型研究较为充分,是当今观点动力学研究的主流模型。目前绝大多数的非有限信域观点动力学研究或是基于固定的拓扑结构,切换拓扑结构,或是边或者点的概率分布已知的随机拓扑结构,这里点代表个体,边表示个体与个体关联与否或者个体与个体的关联程度。

此类研究从 French 模型出发,到众所周知的 DeGroot 模型^[1]和 Friedkin 模型^[11]等,以这种由简入繁的研究思路展开。

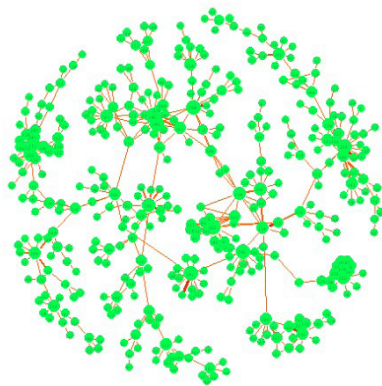


图2 社会网络拓扑模型

1981年,一些研究者从社会心理学中社会影响力的角度出发,构造了基于社会影响力(Social Impact Model)的观点演化模型^[7]。这里社会影响力包括个体之间的直接或者间接的互动,个体观点的传播等。假设针对某一问题决定个体观点的主要因素有2个,其他同事说服的力度和支撑自己观点保持不变的力度。根据每个个体观点与邻居个体观点的距离远近(即无向图中两个节点间路径的长度),以及其他个体被说服还是保持不变的状态,我们可以构造针对任一个体的总体影响力函数。最后基于此函数的值大小来决定个体观点改变或保留。这里社会影响力模型是投票模型与心理学中社会影响力概念相结合的产物。

随后,为了刻画会议中的个体观点演化现象,

Galam 等人在 2002 年构建了多数规则模型 (Major Rule Model)^[8]。这里我们设定无向固定拓扑图是连通的。多数规则模型的特点在于每时刻每个个体从所有个体中选择一部分个体,并选取各自所有邻居个体进行讨论,并且这部分群体下一时刻观点都为这部分群体多数个体采用的观点(若选取偶数个且恰好一半选择观点和另一半不同,则假设个体观点下一时刻保持不变)。研究表明,对于给定的某个初始值,存在与所选择部分个体数目所占比例有关的阈值,当初始值采取观点值 1 的观点比例大于这个阈值时,所有个体观点几乎都随时间增长而趋于观点值 1;类似地,我们可以考虑观点值 0 的情形。不难发现,考虑到多数规则模型中完全连通图的设定以及简单的演化规则,研究者们对于多数规则模型的观点演化分析有较为完善的理论结果。

除上述模型之外,还有一些社会影响力模型以及多数规则模型。目前这类模型仍在发展壮大中,并不断出现新的具有现实意义或理论意义的观点动力学模型。这些都为有限信域模型提供了很好的借鉴和指导作用。

上述几类观点动力学模型的共同特征是个体与其他个体的关联与否形成的网络拓扑结构是固定的,即个体观点演化是在固定拓扑结构下的演化。而观点动力学中,包括有限信域观点动力学模型,存在一类模型是随机切换拓扑结构下的观点演化模型。早在 1975 年, Liggett 等学者提出了投票者模型 (Voter Model)^[9],随后陆续有大量研究者对其进行了推广。其实,最原始



图3 社会网络拓扑模型

的投票者模型十分简单,但它产生的影响是很大的。我们可以发现,投票模型是少数几个可被求解的非平稳随机过程中的一个。简单的投票者模型规则被大量应用于其他问题中,例如群体决策分析、生态问题研究以及小世界社会网络等。

还有一类著名的流言传播模型 (Gossip Model)^[10]。我们可以发现,流言传播模型与投票模型有相似之处,例如个体从邻居集合中随机选取;不过,不同的是投票模型个体观点的取值只能限定在 0, 1 两个值或者多个有限值中,但是流言传播模型观点取值范围可以是无穷多个。

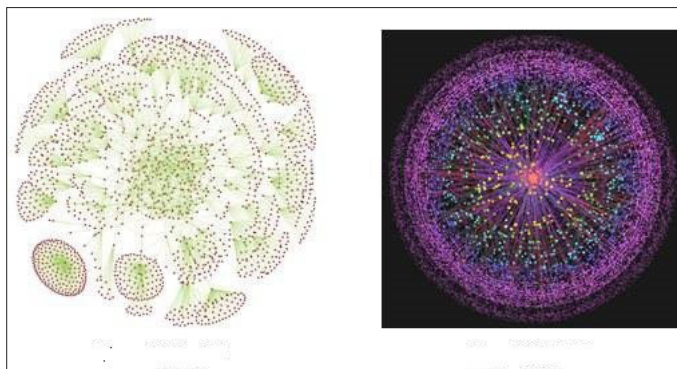


图4 流言传播模型中的传播簇(中心节点为流言源点)

从社会影响力模型发展到随后的多数规则模型,我们可以发现观点动力学模型的发展在微观上从纵向角度来看其演化规则形式上不断简化,即刻画影响观点改变的因素变得简单,比如我们从两个角度来刻画社会影响力模型到

仅仅计算个体邻居的观点数目的多数规则模型；然而从横向角度来看，观点动力学的发展更加突出个体之间的观点交流，这一点从投票者模型演化到流言传播模型可以看出，从形式上看，流言传播模型与投票者模型的区别在于流言传播模型的观点取值空间不只限制于有限个节点上，并且流言传播模型不像投票者模型仅仅替换个体观点那样简单，而加入了更加符合社会心理学机制的相互交流取平均值的方法。从上述的非有限信域观点动力学我们可以推断，有限信域观点动力学的发展基本上也应该是符合上述规律的，而有限信域观点动力学模型的发展与非有限信域观点动力学的发展密切相关，这就使得有限信域观点动力学的发展更加复杂多样。下面我们将介绍有限信域观点动力学的发展历史和各种类型，重点是两类传统的有限信域观点动力学模型。

二、有限信域观点动力学

有限信域观点动力学有以下两个重要的特征。其一，区别于投票模型、多数选择模型等以往离散观点的建模方式，有限信域观点动力学模型关注处理连续观点的建模问题。连续观点的引入主要基于诸多情况下个体观点可以在从一个极端观点到另外一个极端观点间有各种不同的观点选择的情况，类似于由大量议员构成的议会中不同政党派别的座位数比例可以近似连续变化；另外，有限信域观点动力学引入了有限信域的机制，即当所选择个体与自身个体观点足够接近时才相互交流，否则自身个体观点保持不变。因此造成了有限信域观点动力学模型的网络拓扑结构与大多数其他非有限信域观点动力学模型的随机切换网络拓扑结构不同，由于个体观点的演化依赖于观点值之间的实际距离，而个体观点的实际距离也与观点值的大小以及上一步的观点选取和观点位置

因素密切相关，因此有限信域观点动力学的网络拓扑是内生的状态耦合结构。

这里我们介绍两类有限信域观点动力学模型以及其基本现象。

2.1 DW 模型

20世纪90年代初，Deffuant等学者研究了欧洲共同农业政策从经济导向的农业政策到环境友好型农业政策的转变如何影响农民生产决策的问题。基于农业社会学的文献，学者们组织并调研农民和农业顾问，发现了如下几方面特征：

- 对于农民来说改变生产会涉及许多不确定性，例如，降低肥料的完全使用对作物生产组织及年度周转有极大的影响；
- 为了降低可带来危害的不确定性，农民会与其他同行进行多次探讨，除了信息在农民社交网络中相互之间的传播，他们之间的相互通信也产生了对于判断农业实践好坏标准的一致性意见和对此的规范化调控；
- 适应环保型农业政策是一个比较漫长的过程，这期间涉及到社会意识形态和信息化等影响，有时候会持续好几年。

Deffuant构建的观点动力学模型具有哪些特点，在哪种背景下具有明显意义呢？以采纳决策之前的大量信息交换为特征，例如在以上农业政策的背景以及环境经济学中，对动态信息交互的建模比博弈方法的建模更加有效。Deffuant指出，传统的信息交流或观点交流是以二元化的方法定义的，即农民采取绿色政策或不采取绿色政策（这对应于经典的投票模型以及多数规则模型）。但是二元化的观点建模在某些情况下并不合适，例如经济学中常出现的关于选择的价值量或者调节某经济控制参数所反映出的个体信仰的变化，故而人们常常把观点设置为一个连续的取值。在社会个体不得不做出重要选择并且在做出选择前收集

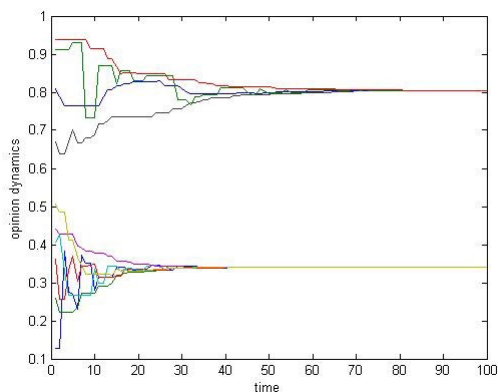


图5 一类DW模型的观点演化路径

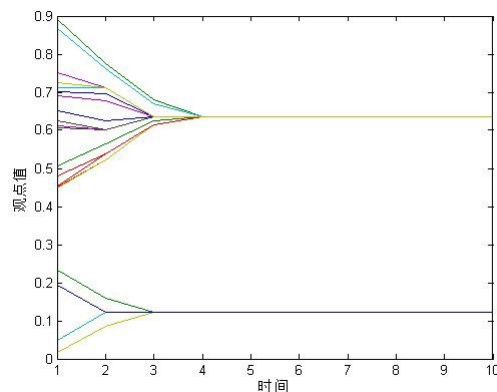


图6 HK模型的观点演化路径

到众多个体观点的情形下, 观点动力学的研究是很有用的。例如, 农民们适应一个技术性的调整往往是很困难的, 并且需要同行广泛讨论。新的几乎不可逆转的议会决议也往往属于这种类别, 例如欧洲一体化等涉及许多不确定性因素, 故在大范围群体内的长期的自主讨论是必要的^[5]。

基于上述背景, Deffuant 等学者提出了一类有限信域的观点动力学模型, 通常被称为 Deffuant-Weisbuch (DW) 或 Weisbuch 模型。随后在此基础上, 人们发展了各种 DW 模型 (比如 [9])。

2.2 HK 模型

与 DW 从社会学应用背景角度出发不同的是, HK 模型 (又称为 Krause 模型) 的研究出发点更多地从理论背景角度出发。在 2002 年, 哲学学者 Hegselmann 与数学学者 Krause 提出了一类观点演化具有确定性的有限信域观点动力学模型^[6]。

通常, 如果几个个体信域阈值具有相同的值时, 我们称其为同质 HK 模型; 而当至少两个个体信域阈值取不同值时, 为异质的 HK 模型。从观点更新机制的角度, HK 模型有与 DW 模型对应的同质模型与异质模型分类, 不同处在于 DW 模型是随机性模型而 HK 模型是确定性模型。DW

模型与流言传播模型较为接近, 只是增加了有限信域机制; 而 HK 模型与一类 LMDW 模型较为接近, 不同于多选择 DW 模型, HK 模型中每个个体必然选择自身有限信域为半径的领域内的所有邻居观点并进行平均。特别地, 当时刻 t 个体领域内只有自身观点时, $t+1$ 时刻所有个体观点保持不变。

然而由于观点演化确定性以及观点具有有序演化性等性质, HK 模型吸引了大量研究者进行理论研究和仿真实验。这方面的研究促进了 HK 模型的推广发展。比如, A Girard 等研究者在 2011 年提出了一类新的 HK 模型, 这类模型的特点是信域半径大小随着时间增长而以指数速率递减, 称为信域半径退化的 HK 模型。这类模型的产生原理可以从仿真实验中体会到: 由于 HK 模型个体观点趋于多个极限值, 因此信域半径大小可与时间建立联系, 这是由于当时刻 t 充分大时, 几乎所有的观点都集中或者分散集中到一个比信域半径小得多的区域, 因此在此时及以后的时刻, 信域半径变小也不会影响到观点的聚集。

从这一模型的构建我们可以发现, 更进一步的模型构建不但是与现实结合的产物, 也可以从

实验中找到规律并根据规律进行改进。

三、广阔的发展前景

随着社交网络的蓬勃发展，特别是社交网络大数据等新兴领域的出现，观点动力学，尤其是有限信域观点动力学的理论研究获得了越来越多的重视，并且逐步渗透到科学研究、工程应用和社会生活的各个方面，并取得了相当多的成果。

观点动力学目前的研究路线是基于社会心理学、社交网络等现实问题构建模型，分析模型特性，包括收敛性和波动性等。通过深入理解观点动力学模型的观点演化机理与观点演化方式，我们对社交网络中群体观点的演化有更深入的了解。同时，对模型进行仿真实验，通过模型的极限特性来反馈给实际问题，帮助决策者了解问题并制定最优决策。

针对社会群体中个体行为和思想等一系列构成社会群体的重要要素受到社会群体观点影响而变化的事实，尤其在突发事件中，因此理解个体观点如何相互作用和演化，并进一步预测、控制群体观点对于社会稳定安全，预测社会经济发展等都具有一定理论价值和潜在应用价值。综上所述，研究观点动力学，尤其是有限信域观点动力学，都具有很强的理论意义和现实意义。

众所周知，精确刻画群体观点的演化模型几乎是不存在的。但是基于不同现实问题，如欧洲共同体农业政策调整、农民相互之间交流情形下群体观点的演化，和机器人网络中智能体一定探测范围下群体位置的演化等，都可以提炼出具有特定机制来刻画观点演化的演化规则，如有限信域机制和社会影响力机制等。那么问题在于，针对特定群体观点演化的现象，怎样提炼出能够在社会心理学等学科背景下找到的相关机制？当然，带有非线性的观点动力学模型的分析是比较困难

的。基于有限信域机制，个体观点不同的选择机制会产生群体观点一致、极化、多极限值和波动等不同的现象，其方程求解是 NP 困难问题，这也带来了很大的复杂性。因此一般的具有特定机制的观点动力学模型还有待进一步研究。

参考文献

- [1] DeGroot M H. Reaching a consensus. *Journal of the American Statistical Association*, 1974, 69(345): 118—121.
- [2] Serge M, Marisa Z. The group as a polarizer of attitudes. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1969, 12(2): 125—135.
- [3] Clifford P, Sudbury A. A model for spatial conflict. *Biometrika*, 1973, 60(3): 581—588.
- [4] Holley R, Liggett T. Ergodic theorems for weakly interacting systems and the voter model. *Ann. Prob.*, 1975, 3: 643—663.
- [5] Deffuant G, Neau D, Amblard F, Weisbuch G. Mixing beliefs among interacting agents, *Advances in Complex Systems*, 2000, 13: 87—98.
- [6] Hegselmann R, Krause U. Opinion Dynamics and Bounded Confidence Models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations*, 2002, 5(3).
- [7] Latané B. The psychology of social impact. *American psychologist*, 1981, 36(4): 343.
- [8] Galam S. Minority opinion spreading in random geometry. *The European Physical Journal B—Condensed Matter and Complex Systems*, 2002, 25(4): 403—406.
- [9] Zhang J, Hong Y. Opinion Evolution Analysis for Short-Range and Long-Range Deffuant-Weisbuch Models. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2013, 392: 5289—5297.
- [10] Boyd S, Ghosh A, Prabhakar B, Shah D. Randomized gossip algorithms. *IEEE Transaction on Information Theory*, 2006, 52: 2508—2530.
- [11] Friedkin N E, Johnsen E C. Social influence networks and opinion change. *Advances in Group Processes*, 1999, 16: 1—19.



【作者简介】张江波，西南石油大学理学院，硕士研究生导师。主要从事复杂社会网络非稳定性的理论研究和应用、以及多智能体系统研究。发表期刊论文 10 余篇，包括《SIAM Journal on Control and Optimizaiton》、《Physica A: Statistical Mechanics and its Applications》以及《国土资源科技管理》等；会议论文数十篇，包括“IEEE Conference on Decision and Control”、“Control Conference (CCC), Chinese”等；主研和主持项目数项。对于多智能体系统在复杂社会网络等复杂系统中的理论分析以及应用感兴趣。2016 年 2-5 月在瑞典皇家理工学院访问学习，主要从事社交网络中多智能系统建模下的非稳定性分析；2017 年 8-11 月在澳大利亚国立大学访问学习，主要从事社交网络中内生波动性的理论分析研究。目前正在完善合作式多智能体社交系统中状态内生波动性的研究成果。学生工作方面主要讲述《测度论》、《随机过程》、《信息课程基础》、《时间序列分析》等 20 余门课程，辅导大学生数学建模竞赛等等。