

基于博弈论的网络信息传播模型的研究

郭艳燕¹ 童向荣¹ 刘其成¹ 龙宇¹ 李晔²

(烟台大学计算机学院 烟台 264005)¹

(山东省计算中心山东省计算机网络重点实验室 济南 250014)²

摘 要 网络中存在较多暂时无法判断真伪的信息,网民面对这些信息时,选择不转发或转发策略是一种博弈。同时,对于已经拥有信息并且知晓信息真实性的信息传播者,选择发送真实信息或失真信息也是一种博弈。以这种真实的网络信息传播为背景,将博弈论和多 Agent 技术结合应用到网络信息传播的研究中,建立了多个适用于不同情境的博弈模型。通过收益矩阵分析了现实网络信息传播中行为人的策略选择问题,阐述了各种模型的基本性质和现实意义。在建立模型的过程中充分考虑到网络信息传播的流动性,并将信任机制引入其中,使建立的模型更符合实际网络信息的传播情形,并且为网络信息传播的 Agent 模拟实验、动态博弈和演化博弈模型的建立打下理论基础。

关键词 博弈论,多 Agent 系统,信息传播,信任,谣言

中图法分类号 TP18 **文献标识码** A

Models of Network Information Propagation Based on Game Theory

GUO Yan-yan¹ TONG Xiang-rong¹ LIU Qi-cheng¹ LONG Yu¹ LI Ye²

(School of Computer Science, Yantai University, Yantai 264005, China)¹

(Key Laboratory of Computer Network of Shandong Province, Shandong Computer Science Center, Jinan 250014, China)²

Abstract There is a lot of information whose authenticity is unable to be judged temporarily in the Internet. Whether or not to forward this kind of information for the internet users is a kind of game. Also, whether or not to propagate true information for the owner of information who has known the authenticity of information is a kind of game. Taking the real network information propagation as the background and combining the game theory with multi-agent technology, several game models suitable for different network information propagation processes were established. Players' strategies were analysed through the payoff matrix while the basic properties and the practical significance of the various models were explained. In order to make these models more suitable to the actual situations of the network information propagation, the liquidity of network information transmission and trust mechanism were taken into account in modeling. These models lay a solid foundation for agent simulation experiment and the models of dynamic game and evolutionary game.

Keywords Game theory, Multi-agent systems, Information propagation, Trust, Rumor

网络作为信息传播的新媒体,使信息传播的环境具有一定特殊性^[1]。在网络时代,移动通信工具的广泛应用以及微博等的兴起,使网络中的每个人都可能成为信息的即时发布者和传播者。同时,网络信息传播者在传播信息的过程中,存在对自己利益诉求的不同偏好。因此,网络中信息传播者的传播行为,其实质就是在利益机制驱动下,从不同的角度或为达到不同目的而投入成本来传播信息,这是一种信息发布者和转发者的交互博弈。在现实生活中,网络中通过博客、微博、电子邮件进行传播的信息有真实信息,也有许多失真信息,例如各种各样的谣言。这些信息的传播能够给信息传播

者和接收者带来不同的收益,理性的人需要依据博弈论^[2]找到合理的对策来应对不同的网络信息传播。

现实世界中不同的 Agent 代表不同的利益实体,所以 Agent 为了完成任务,实现利益的最大化,不可避免地会在合作过程中出现各种各样的欺骗(背叛行为)^[3]。在人类社会的合作中起着重要作用的信任机制,同样在信息传播中扮演着重要角色,制约着信息传播者的行为。

信任是把自己的利益寄托在对方身上,期待对方来与自己合作,从而使双方的利益增加。这里引入的信任是对信息发送方的信任而不是对被传播的信息本身内容的信任。其原

到稿日期:2013-03-21 返修日期:2013-10-16 本文受国家自然科学基金项目(61170224),山东省自然科学基金项目(ZR2011FL018, ZR2012FL07),山东省科技发展计划项目(2012GGB01017),山东省教育厅科技计划项目(J11LG35, J10LG27),山东省计算机网络重点实验室开放课题计划项目(SDKLCN_2012_03),山东省自然科学基金计划青年基金项目(ZR2013FQ020)资助。

郭艳燕(1980—),女,硕士生,讲师,主要研究方向为人工智能、软件工程, E-mail: smallgyy@sina.com;童向荣(1975—),男,博士,副教授,主要研究方向为人工智能、复杂网络;刘其成(1970—),男,博士,副教授,主要研究方向为并行计算、智能信息处理;龙宇(1991—),男,硕士生,主要研究方向为人工智能、复杂网络。

因可能是信息本身无法验证或验证的代价太大。例如网络中传播的信息“碘盐超标的危害”、“三星苹果版权之争”等,对于接收者暂时无法鉴别真伪,而接收者只有“接受”和“不接受”两种选择。在本文建立的模型中,这种“接受”和“不接受”体现在对消息发送方的“信任”和“不信任”上,从而导致信息接收方对该信息的转发和不转发行为,同时信息接收者的后期行为会影响自身的信誉值^[4]。传播真实信息时会增加转发者的信誉值,传播失真信息时会降低转发者的信誉值。本文中研究的信任与信誉值本身没有直接关系。

本文研究网络信息传播的博弈模型,将网络环境中的信息传播个体用多 Agent^[5]系统中的 Agent 进行模拟,同时引入信任机制,建立基于信任的信息传播博弈模型,来帮助分析网络信息传播者在各自利益驱动下的行为决策,即信息传播行为。

本文建立的多 Agent 博弈模型主要有以下特点:首先将网络信息传播作为应用背景,考虑到网络信息传播具有流动性的特点,即信息接收者可以作为该信息的再次传播者,这种分析思路有利于后期进行多次博弈和动态博弈^[6]的研究;其次,博弈双方(信息传播者和信息接收者)的收益评价标准不同,体现在信息传播中参与者的利益诉求不同;最后,引入信任机制^[7]作为信息再次传播的决定因素,此处的信任是对信息传播者的信任,而不是对信息本身内容的信任。

本文的主要贡献在于将博弈论应用到分析网络信息传播的研究中,建立适用于不同情境的多种博弈模型。通过分析模型中网络信息传播个体的行为和收益,描述处于均衡状态下的个体行为策略,具有一定的现实意义,并为网络信息传播的 Agent 模拟实验和后期的动态博弈、演化博弈模型^[8]的建立打下理论基础。

本文第 1 节介绍本文的建模基础,包括用博弈论分析网络信息传播的前提、本文模型建立的基本假设和 MAS 博弈模型的形式化定义;第 2 节详细介绍本文中建立的 5 个博弈模型,分别对模型的情景、模型建立过程、收益分析进行描述,给出相应的性质,并简要介绍各种模型的现实意义;第 3 节举例说明本文建立的模型的实际应用;第 4 节介绍与本文相关的工作并进行相应的比较;最后对本文的工作进行总结并介绍下一步研究的工作重点。

1 建模基础

1.1 用博弈论分析网络信息传播的前提

前提 1 网络虚拟化。博弈现象主要在关系和利益存在冲突的时候发生,网络信息传播的虚拟化现象使在信息不明朗的状况下,信息传播中的“冲突”更加容易发生,因此有了博弈的可能;并且网络上的任何人都可能成为信息的传播者,且传播网络信息的成本也较低。

前提 2 反馈机制的健全。如果反馈机制不畅通,即使信息传播过程中出现了冲突,博弈也不可能发生。但在网络信息的传播过程中,接收一方可以积极利用各种渠道反馈信息,从而产生博弈。

前提 3 信息本身的不确定性。假如信息的传递准确清晰,则不存在博弈的现象。而在网络信息传播中,信息传播者为了达到自身利益,对所传播的信息进行了“加工”,所以接收者才会需要对这些不清晰的信息加以揣测,从而产生博弈。

前提 4 网络信任^[9]的不确定性。在信任机制十分健全的情况下不会产生博弈现象。而在网络信息的传播过程中,接收者对传播者是否信任决定接收者的后续转发行为,从而产生博弈。

1.2 基本假设

本文建立的多 Agent 博弈模型基于以下假设。

假设 1 本文研究的是完全信息静态博弈,即博弈机制赋予 Agent 相互理性,对 Agent 行动的秩序和 Agent 关于其它 Agent 的知识做出相应的假设,不同的 Agent 在决策时并不知道与他交互的其他的 Agent 选择了什么策略,并且对知识有确切的了解。

假设 2 本文以网络信息传播为研究背景,从信息传播者的角度来建立博弈模型,以分析具有不同个人偏好的信息传播者在面对各类不同的网络信息时的策略选择和对应收益。

假设 3 本文在进行网络信息传播的研究时,充分考虑到信息传播具有流动性的特点,即每一次信息的传播具有源头和目的地,而每一次信息传播的目的地可以是下次信息传播的源头。在建立信息传播模型时,将信息的接收者同样作为信息传播者来进行建模,这样可以更好地体现信息传播中的流动性,同时提高了模型的适用性。

假设 4 本文假定在网络信息真伪性暂时无法判断的情况下,将信息接收者对信息传播者的信任作为信息接收者转发行为的决定因素。接收者对信息传播者信任则转发该信息,达到再次传播该信息的目的,否则就拒绝该信息的传播。

假设 5 本文是从全局进行考察,即网络信息的传播主体是互不相识的陌生人,虽然在进行信息传播的交互后,会影响信息传播者的信誉值,但因为本文研究的是一次性静态博弈,所以在博弈模型中引入的信任值不考虑随时间的变化。信息发送者之间的信任在本文中分为:绝对信任、绝对不信任和以概率 p 信任,且信任不受信誉值的影响。

假设 6 本文将问题简化成假设只有两个 Agent,每个 Agent 只有两个策略备选项。

1.3 MAS 博弈模型的形式化定义

基于以上假设,给出本文中 Multi-Agent Systems(MAS) 博弈模型的形式化定义。

定义 1 称三元组 $\langle N, S, U \rangle$ 为 MAS 纯策略博弈模型,其中

(1) $N = \{Agent_1, Agent_2\}$ 为参与者集合,共 2 个参与者。

(2) $S = \{S_1, S_2\}$, S_i 是 $Agent_i$ 的策略备选项集, $i = 1, 2$, 其中,假设任意一个 $Agent_i$ 有 2 个行动(纯策略),即 $S_i = \{s_{i1}, s_{i2}\}$ 。

(3) $U = \{U_1, U_2\}$, U_i 是 $Agent_i$ 的收益函数, $i = 1, 2$, 其中, $U_i(s_1, s_2)$ 是在纯策略组合 (s_1, s_2) 之下 $Agent_i$ 的收益值, $s_i \in S_i$ 。而 $Agent_i$ 在博弈中理性化的表现是使 U_i 极大化。同时,称 (s_1, s_2) 为博弈的一个纯策略。如果策略是纯策略的各个概率组合,则称其为混合策略。

候选策略的空间从有限纯策略集 S 扩展到 S 的概率分布空间 P ,便形成混合策略博弈模型 $\langle N, S, U, P, E \rangle$, 其中

(1) $P = \{P_1, P_2\}$, P_i 是 $Agent_i$ 的混合策略概率集合, $i = 1, 2$, 其中, $P_i = \{p_{i1}, p_{i2}\}$, $p_{i1} + p_{i2} = 1$ 。 p_{ij} 代表 $Agent_i$ 采取策略 s_{ij} 的概率, $j = 1, 2$, 且 $0 < p_{ij} < 1$ 。

(2) $E = \{E_1, E_2\}$, E_i 是 $Agent_i$ 策略的期望收益函数, $i =$

1,2,其中, $E_i(s_{ij})$ 是在混合策略组合之下 $Agent_i$ 的期望收益值, $j=1,2$ 。

2 基本模型

下文建立了4种MAS博弈模型,是将以上形式化定义1具体应用到网络信息传播的不同情景。

2.1 MAS 博弈模型 1

2.1.1 情景描述

①参与者:信息传播者A和信息传播者B(A已拥有信息并且知道信息的真实性,B对A要传播给他的信息的真实性暂时无法验证)。

②参与者A和B的策略备选项不同:

A的策略备选项:传播真实信息给B和传播“加工”过的失真信息给B。

B的策略备选项:转发从A收到的信息给第三方和不转发从A收到的信息给第三方。因为暂时无法判别被传播信息本身的真实性,B的转发行为只取决于对A是否信任。

③双方收益:两个参与者的收益评价标准不同。

A的收益:取决于发送给传播者B的信息是否通过B的转发行为让第三方知道,第三方获取的信息不论真假,对A来说收益是相同的。若第三方获取此信息,即B信任A转发信息,A的收益为 a ;第三方未获取此信息,即B不信任A不转发信息,A的收益为 b ,同时规定: $a>b$ 。

B的收益:取决于他转发的是真实信息还是失真信息。如果不转发信息,则会保持B的信誉值 s 不变。如果B转发的是真实信息,会增加B的信誉值为 $s+t(t>0)$;如果B转发的是失真信息,会降低B的信誉值为 $s-t$ 。

2.1.2 模型建立

基于定义1建立MAS博弈模型1,其中

(1) $N=\{Agent_1, Agent_2\}$, $Agent_1$ 模拟信息传播者A, $Agent_2$ 模拟信息传播者B,并且 $Agent_1$ 已拥有信息,知道信息的真实性; $Agent_2$ 并不知道 $Agent_1$ 要传给他的信息的真实性。

(2) $S=\{S_1, S_2\}$, 这里 $S_1=\{s_{11}, s_{12}\}$ (S_1 是 $Agent_1$ 的策略集合,由 s_{11} 和 s_{12} 组成。 s_{11} 代表传播真实信息, s_{12} 代表传播失真信息); $S_2=\{s_{21}, s_{22}\}$ (S_2 是 $Agent_2$ 的策略集合,由 s_{21} 和 s_{22} 组成。 s_{21} 代表信任 $Agent_1$ 转发信息, s_{22} 代表不信任 $Agent_1$ 不转发信息)。

(3) $U=\{U_1, U_2\}$, U_1 是 $Agent_1$ 的收益函数, U_2 是 $Agent_2$ 的收益函数,参数是 $Agent$ 双方的策略组合。表1为 $Agent_1$ 、 $Agent_2$ 双方策略的收益函数列表。

表1 MAS模型1中Agent双方的收益函数($a>b, t>0$)

Agent ₁ 的收益函数	Agent ₂ 的收益函数
$U_1(s_{11}, s_{21})=a$	$U_2(s_{11}, s_{21})=s+t$
$U_1(s_{11}, s_{22})=b$	$U_2(s_{11}, s_{22})=s$
$U_1(s_{12}, s_{21})=a$	$U_2(s_{12}, s_{21})=s-t$
$U_1(s_{12}, s_{22})=b$	$U_2(s_{12}, s_{22})=s$

2.1.3 模型分析

信息传播者B的行为取决于是否对信息传播者A的信任。此模型中的信任用绝对信任,即绝对不信任或绝对信任。若用 p 表示信任A的概率值,以 $p=1$ 的概率绝对信任A,以 $p=0$ 的概率绝对不信任A。

根据纳什均衡的定义:策略组合中参与者双方的策略是对方彼此策略的最佳应对,则此策略组合是纳什均衡^[7]。分析双方的收益函数, $U_2(s_{11}, s_{21})>U_2(s_{11}, s_{22})$, $Agent_2$ 的 s_{21} 策略是 $Agent_1$ 采取 s_{11} 策略的最佳应对;同时, $U_1(s_{11}, s_{21})\geq U_1(s_{12}, s_{21})$, $Agent_1$ 的 s_{11} 策略是 $Agent_2$ 采取 s_{21} 策略的最佳应对,则策略组合 (s_{11}, s_{21}) 是纳什均衡。同理,策略组合 (s_{12}, s_{22}) 也是纳什均衡。

性质1 模型1中存在纯策略纳什均衡为(传播真信息,转发信息)和(传播失真信息,不转发信息),达到均衡时参与双方的策略是彼此的最佳应对。同时在信息传播者传播真实信息时获得的收益更高,即(传播真信息,转发信息)为帕累托占优。

2.1.4 现实意义

模型1是建立在绝对信任和绝对不信任上的纯策略博弈模型,比较适用于已经通过多次交互建立了比较明确的信任关系的网络信息传播情形。例如非官方网站(媒体)发布信息的情形。同时,模型1为模型2的混合策略的建立打基础。

2.2 MAS 博弈模型 2

2.2.1 情景描述

在实际生活中,信息传播者A和信息传播者B往往出于自己的目的,不希望对方找到自己策略的最佳应对。例如A希望不论自己发送给B的是真实信息还是失真信息,都希望B完全信任A转发此信息。在网络环境下,信息的接收者往往不知道信息的传播者是谁,即对于信息接收者来说,信息发送者是陌生人,那么对陌生人的信任便是随机值。模型2是在模型1的基础上引入了随机信任,形成博弈双方的混合策略。

信息传播者A为了让信息传播者B转发自己传播的信息(不论自己发的信息是真是假),故意来迷惑传播者B,从而加入随机因素,即以概率 q 传播真信息,以概率 $1-q$ 传播失真信息来形成混合策略,达到让B找不到A所采取策略的最佳应对的目的。

同时,信息传播者B对信息传播者A的信任也不再是绝对信任和绝对不信任,而是加入随机因素,即以概率 p 信任A转发信息,以概率 $1-p$ 不信任A不转发信息来形成混合策略,达到让A找不到B所采取策略的最佳应对的目的。

2.2.2 模型建立

MAS博弈模型2在MAS博弈模型1的基础上加入了随机信任,形成混合策略模型。其中 N 、 S 、 U 与MAS模型1中的相同,但

(1) $P=\{P_1, P_2\}$, 这里 $P_1=\{q, 1-q\}$ (P_1 是 $Agent_1$ 的混合策略概率集合,由 q 和 $1-q$ 组成。 q 代表 $Agent_1$ 发送真实信息的概率, $1-q$ 代表发送失真信息的概率), $P_2=\{p, 1-p\}$ (P_2 是 $Agent_2$ 的混合策略概率集合,由 p 和 $1-p$ 组成。 p 代表 $Agent_2$ 信任 $Agent_1$ 转发信息的概率, $1-p$ 代表不信任 $Agent_1$ 不转发信息的概率)。

(2) $E=\{E_1, E_2\}$, E_1 是 $Agent_1$ 策略的期望收益函数, E_2 是 $Agent_2$ 策略的期望收益函数。

定义2 模型2的期望收益函数如下:

(1) $Agent_1$ 传播真实信息的期望收益为

$$E_1(s_{11})=p \cdot U_1(s_{11}, s_{21})+(1-p) \cdot U_1(s_{11}, s_{22})$$

$$=ap+b(1-p)=b+(a-b)p$$

Agent₁ 传播失真信息的期望收益为

$$E_1(s_{12})=p \cdot U_1(s_{12}, s_{21})+(1-p) \cdot U_1(s_{12}, s_{22}) \\ =ap+b(1-p)=b+(a-b)p$$

(2) Agent₂ 信任 Agent₁, 转发信息的期望收益为

$$E_2(s_{21})=q \cdot U_2(s_{11}, s_{21})+(1-q) \cdot U_2(s_{12}, s_{21}) \\ =(s+t)q+(s-t)(1-q)=2tq+s-t$$

Agent₂ 不信任 Agent₁, 不转发信息的期望收益为

$$E_2(s_{22})=q \cdot U_2(s_{11}, s_{22})+(1-q) \cdot U_2(s_{12}, s_{22}) \\ =sq+s(1-q)=s$$

2.2.3 模型分析

参与者的期望收益与另一方采用混合策略的概率有关。信息传播者 A 的期望收益取决于信息传播者 B 的策略的选择(信息传播者 B 以概率 p 信任传播者 A, 转发信息; 信息传播者 B 以概率 $1-p$ 不信任传播者 B, 不转发信息)。信息传播者 B 的期望收益取决于信息传播者 A 的策略的选择(信息传播者 A 以概率 q 传播真实信息, 以概率 $1-q$ 传播失真信息)。

通过 MAS 博弈模型 2 中 Agent₁ 的收益曲线图 1 和 Agent₂ 的收益曲线图 2 分析 Agent₁、Agent₂ 的期望收益, 得到以下性质。

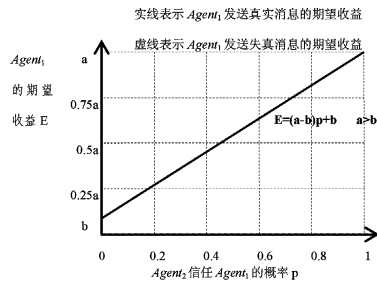


图 1 MAS 博弈模型 2 中 Agent₁ 的收益曲线图

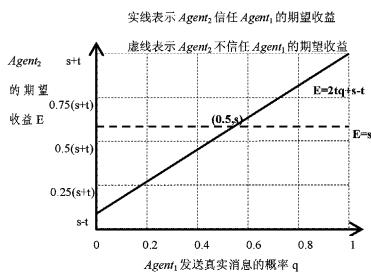


图 2 MAS 博弈模型 2 中 Agent₂ 的收益曲线图

性质 2 图 1 中, 表示 Agent₁ 发送真实消息的曲线和表示 Agent₁ 发送失真消息的曲线重合, 说明无论 Agent₂ 是否转发信息, Agent₁ 传播真实信息和传播失真信息的收益都是相同的, 即 $E_1(s_{11})=E_1(s_{12})=b+(a-b)p$ 。并且, Agent₂ 对 Agent₁ 的随机信任值越大, Agent₁ 的收益越高。

性质 3 图 2 中, 当 $q=0.5$ 时,

$(s+t)q+(s-t)(1-q)=sq+s(1-q)$, $E_2(s_{21})=E_2(s_{22})$ Agent₂ 信任 Agent₁ 转发信息的收益等于 Agent₂ 不信任 Agent₁ 不转发信息的收益为 s ; 当 $0.5 < q < 1$ 时, $E_2(s_{21}) > E_2(s_{22})$, Agent₂ 信任 Agent₁ 转发信息的收益高于 Agent₂ 不信任 Agent₁ 不转发信息的收益; 当 $0 < q < 0.5$ 时, $E_2(s_{21}) < E_2(s_{22})$, Agent₂ 信任 Agent₁ 转发信息的收益低于 Agent₂ 不信任 Agent₁ 不转发信息的收益。

任 Agent₁ 不转发信息的收益。

2.2.4 现实意义

将对信息传播者的随机信任引入到模型 2 中, 使模型 2 更加符合现实信息传播情况, 即传播者与接收者彼此是陌生的情形, 决定了在网络信息传播中, 信息接收者采取一定的概率对信息传播者进行信任, 而不是完全信任, 才能获取较高的收益, 即获取较高的信誉值。

2.3 MAS 博弈模型 3

MAS 博弈模型 3 在 MAS 博弈模型 1 的基础上修改信息传播者 A 的收益函数, 对传播失真信息和真实信息的收益进行修改。

2.3.1 情景描述

不同的信息传播者都有各自的利益诉求, 存在对自己利益诉求的偏好。

例如故意造谣者的目的, 是通过造谣传播失真信息来获取比传播真实信息更高的收益, 达到自己的个人偏好, 将获取比未达到个人偏好更高的收益。

如果信息传播者 A 能让自己传播的失真信息达到扩散的目的(通过信息传播者 B 将失真信息再次转发), 则信息传播者 A 传播失真信息的收益 $(a+x)$ 要比他传播真实信息的收益 (a) 高, 即 $x > 0$ 。同时, 如果传播者 B 不转发从信息传播者 A 接收到的失真信息, 则信息传播者 A 的收益 $(b-y)$ 要比信息传播者 B 不转发从信息传播者 A 接收到的真实信息的收益 (b) 低, 即 $y > 0$ 。

同时考虑到传播失真信息的源头, 即信息传播者 A 在故意传播失真信息造成第三方获悉的情况下(符合真实网络谣言传播的现象), 将面临可能受到一定经济和法律制裁的代价 $v(v \geq 0)$ 。

信息传播者 B 的收益函数和模型 1 中的相同, 不发生改变。

2.3.2 模型建立

基于定义 1 建立 MAS 博弈模型 3, 其中 N, S 与 MAS 模型 1 相同, Agent₁、Agent₂ 双方策略的收益函数 U 如表 2 所列。

表 2 MAS 模型 3 中 Agent 双方的收益函数
($a > b, t > 0, x > 0, y > 0, v \geq 0$)

Agent ₁ 的收益函数	Agent ₂ 的收益函数
$U_1(s_{11}, s_{21})=a$	$U_2(s_{11}, s_{21})=s+t$
$U_1(s_{11}, s_{22})=b$	$U_2(s_{11}, s_{22})=s$
$U_1(s_{12}, s_{21})=a+x-v$	$U_2(s_{12}, s_{21})=s-t$
$U_1(s_{12}, s_{22})=b-y$	$U_2(s_{12}, s_{22})=s$

2.3.3 模型分析

分析模型 3 的收益矩阵, 得到以下性质。

性质 4 模型 3 中, 当 $x \geq v$ 时, 传播者 A 传播失真信息的收益高于传播真实信息的收益, 模型 3 中不存在纯策略纳什均衡, 即每组策略都不是彼此的最佳应对。当 $x \leq v$ 时, 传播者 A 传播失真信息的收益低于传播真实信息的收益, 模型 3 中存在纯策略纳什均衡(传播真信息, 转发真信息)。

2.3.4 现实意义

模型 3 突出了信息传播者的利益诉求, 比较适用于网络中造谣者故意传播失真信息的情形, 并且通过分析此模型可

以将造谣者的利益与受到的经济和法律制裁联系起来,通过制定相应的惩罚力度,来制约造谣者传播失真信息的行为。同时,模型3为模型4的混合策略的建立打基础。

2.4 MAS 博弈模型 4

2.4.1 情景描述和模型建立

MAS 博弈模型 4 是在 MAS 博弈模型 3 中引入随机信任因素,形成混合策略。其中 N, S, P 与 MAS 模型 2 中相同, U 与 MAS 模型 3 中相同。

定义 3 模型 4 的期望收益函数如下:

(1) $Agent_1$ 传播真实信息的期望收益为

$$E_1(s_{11}) = p \cdot U_1(s_{11}, s_{21}) + (1-p) \cdot U_1(s_{11}, s_{22}) \\ = ap + b(1-p) = b + (a-b)p$$

$Agent_1$ 传播失真信息的期望收益为

$$E_1(s_{12}) = p \cdot U_1(s_{12}, s_{21}) + (1-p) \cdot U_1(s_{12}, s_{22}) \\ = (a+x-v)p + (b-y)(1-p) \\ = (a-b)p + (x-v+y)p + (b-y)$$

(2) $Agent_2$ 信任 $Agent_1$, 转发信息的期望收益为

$$E_2(s_{21}) = q \cdot U_2(s_{11}, s_{21}) + (1-q) \cdot U_2(s_{12}, s_{21}) \\ = (s+t)q + (s-t)(1-q) \\ = 2tq + s - t$$

$Agent_2$ 不信任 $Agent_1$, 不转发信息的期望收益为

$$E_2(s_{22}) = q \cdot U_2(s_{11}, s_{22}) + (1-q) \cdot U_2(s_{12}, s_{22}) \\ = sq + s(1-q) = s$$

2.4.2 模型分析

MAS 博弈模型 4 中 $Agent_2$ 的收益曲线图和 MAS 博弈模型 2 中 $Agent_2$ 的收益曲线图相同。根据 x 和 v 的大小关系,用图 3 表示 $x \geq v$ 时 $Agent_1$ 的期望收益,用图 4 表示 $x < v$ 时 $Agent_1$ 的期望收益。

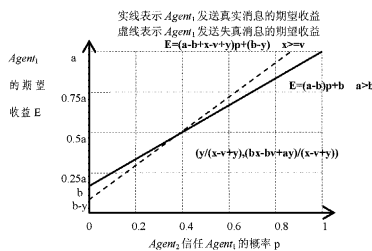


图 3 MAS 博弈模型 4 中 $x \geq v$ 时 $Agent_1$ 的收益曲线图

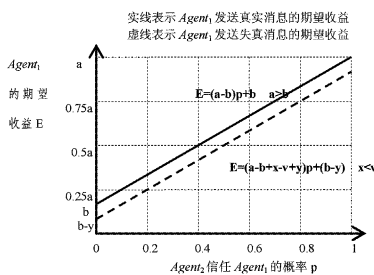


图 4 MAS 博弈模型 4 中 $x < v$ 时 $Agent_1$ 的收益曲线图

分析 $Agent_1, Agent_2$ 的期望收益得到以下性质。

性质 5 模型 4 中,当 $x \geq v, p = y/(x-v+y)$ 时,

$$(a-b)p + b = (a-b)p + (x-v+y)p + (b-y),$$

$$E_1(s_{11}) = E_1(s_{12})$$

$Agent_1$ 传播真实信息的收益等于传播失真信息的收益;当 $p < y/(x-v+y)$ 时, $E_1(s_{11}) > E_1(s_{12})$, $Agent_1$ 传播真实信息的收益大于传播失真信息的收益;当 $p > y/(x-v+y)$ 时, E_1

($s_{11}) < E_1(s_{12})$, $Agent_1$ 传播真实信息的收益小于传播失真信息的收益。

性质 6 模型 4 中,当 $x < v$ 时, $Agent_1$ 传播真实信息的收益总比传播失真信息的收益高,且收益大小与 $Agent_2$ 信任 $Agent_1$ 的概率成正比。

性质 7 模型 4 中,当 $q = 0.5$ 时, $(s+t)q + (s-t)(1-q) = sq + s(1-q)$, $E_2(s_{21}) = E_2(s_{22})$, $Agent_2$ 信任 $Agent_1$ 转发信息的收益等于 $Agent_2$ 不信任 $Agent_1$ 不转发信息的收益;当 $0.5 < q < 1$ 时, $E_2(s_{21}) > E_2(s_{22})$, $Agent_2$ 信任 $Agent_1$ 转发信息的收益高于 $Agent_2$ 不信任 $Agent_1$ 不转发信息的收益 A ;当 $0 < q < 0.5$ 时, $E_2(s_{21}) < E_2(s_{22})$, $Agent_2$ 信任 $Agent_1$ 转发信息的收益低于 $Agent_2$ 不信任 $Agent_1$ 不转发信息的收益。

性质 8 模型 4 中,当 $x \geq v, q = 0.5, p = y/(x-v+y)$ 时的混合策略是纳什均衡,即 $Agent_1$ 以 0.5 的概率发送真信息,以 0.5 的概率发送失真信息给 $Agent_2$;同时, $Agent_2$ 以 $y/(x-v+y)$ 的概率信任 $Agent_1$ 进行转发,以 $(x-v)/(x-v+y)$ 的概率不信任 $Agent_1$ 不进行转发。

性质 9 模型 4 中,当 $x < v$ 时,存在纯策略纳什均衡: $Agent_1$ 发送真信息, $Agent_2$ 完全信任 $Agent_1$ 进行信息转发。

2.4.3 现实意义

模型 4 中建立参与双方的混合策略,通过计算信息传播者传播真信息的概率和接收者转发信息的概率以及对应的期望收益,来分析网络中造谣者通过传播失真信息获取较高利益的动机。根据混合纳什均衡,通过信息接收者的信任概率选择来制约造谣者通过传播失真信息获取较高利益的行为。

3 应用实例

将上述建立的模型应用到现实实例中。

3.1 媒体公信力缺失下的信息传播实例

当今社会中的一些网站媒体为追求高点击率,不惜牺牲媒体的公信力,一味迎合受众。媒体出于某种目的或为利益所驱使,表现在新闻失实,甚至捏造事实以追求新闻热点、轰动、刺激等效应,来吸引受众。媒体公信力的缺失必将会导致受众对某些媒体的信任危机,而这种信任危机必将制约媒体信息的传播。用模型 1 来建立信息传播的博弈模型的收益矩阵,如图 5 所示。

		Agent ₂ (受众)	
		信任媒体, 转发信息	不信任媒体, 不转发信息
Agent ₁ (媒体)	发布真实信息	(a, s+t) = (10, 0.7)	(b, s) = (0, 0.6)
	发布失真信息	(a, s-t) = (10, 0.5)	(b, s) = (0, 0.6)

图 5 媒体公信力缺失下的信息传播模型收益矩阵

$$(a=10, b=0, s=0.6, t=0.1)$$

此时纳什均衡为(媒体发布真实信息,受众转发信息)和(媒体发布虚假信息,受众不转发信息),而媒体发布真实信息时收益更多,因此媒体多发布真实信息能达到信息更普遍传播的目的,同时也提高了媒体自身的公信力。

3.2 “抢盐”事件中的信息传播实例

日本震后不久,在网络信息“盐是能防辐射”、“国内盐供应不足”等的广泛传播下,由于对信息本身的真实性无法辨别,因此在一些谣言的蛊惑下,人们开始疯狂地抢购食盐,这

就是“抢盐”事件。这个事件中的起因就是谣言，而谣言就是失真的信息。

此事件中的谣言分为两类：无意谣言和有意谣言，以下将模型 1、3 应用到此谣言传播的分析过程中。

3.2.1 无意谣言的传播

无意谣言产生的最初阶段，仅仅是一种关于产生某一后果的可能性推断^[10]。在无意谣言信息传播的过程中，人们对最坏情况的关注倾向可能会导致信息的扭曲变形，产生了不良后果，最终引发上述事件。无意谣言产生可以理解为善意的，但在传播过程中发生了扭曲，产生了不良后果。因此传播谣言并不具有恶意传播信息的目的，不存在传播无意谣言的个人偏好。因此这种情况下仍用模型 1 来建立信息（无意谣言）传播模型，其收益矩阵如图 6 所示。

		Agent ₂ (信息传播者 B)	
		信任 A, 转发信息	不信任 A, 不转发信息
Agent ₁ (信息传播者 A)	传真实信息	(a, s+t)=(10, 0.7)	(b, s)=(0, 0.6)
	传失真信息	(a, s-t)=(10, 0.5)	(b, s)=(0, 0.6)

图 6 无意谣言信息传播模型收益矩阵 (a=10, b=0, s=0.6, t=0.1)

3.2.2 有意谣言的传播

有意谣言的产生相对较为直观：少数个人或者企业为了打压对手，或者出于其他一些原因故意针对某一事件制造谣言，迷惑大众，从而使自己从中获利^[10]。

谣言的最初阶段就是虚假和错误的。有意谣言的制造者利用了人们对相关事件的关注度和信息的模糊性，采用欺骗的手段来达到目的，存在传播有意谣言的个人偏好。根据有意谣言产生的社会后果的严重性，在有意造谣者不需要承担经济和法律制裁的情况下 (v=0) 用模型 3 来建立有意谣言信息的传播模型，其收益矩阵如图 7 所示；在有意造谣者需要承担经济和法律制裁的情况下 (v≠0, 且 v>x) 用模型 3 来建立传播模型，其收益矩阵如图 8 所示。

		Agent ₂ (信息传播者 B)	
		信任 A, 转发信息	不信任 A, 不转发信息
Agent ₁ (信息传播者 A)	传真实信息	(a, s+t)=(10, 0.7)	(b, s)=(0, 0.6)
	传失真信息	(a+x-v, s-t)=(11, 0.5)	(b-y, s)=(-1, 0.6)

图 7 不需承担法律后果的有意谣言信息传播模型收益矩阵 (a=10, b=0, s=0.6, t=0.1, x=1, y=1, v=0)

		Agent ₂ (信息传播者 B)	
		信任 A, 转发信息	不信任 A, 不转发信息
Agent ₁ (信息传播者 A)	传真实信息	(a, s+t)=(10, 0.7)	(b, s)=(0, 0.6)
	传失真信息	(a+x-v, s-t)=(9.5, 0.5)	(b-y, s)=(-1, 0.6)

图 8 需承担法律后果的有意谣言信息传播模型收益矩阵 (a=10, b=0, s=0.6, t=0.1, x=1, y=1, v=1.5)

此模型没有纯策略纳什均衡，存在混合策略纳什均衡，因此使用模型 4 来分析，通过模型 4 中性质 5 和性质 7 可计算出无意谣言传播者以 0.5 的概率传播真实信息，信息接收者 B 以 0.5 的概率信任无意谣言传播者，这样才能达到不让谣言广泛传播的目的。此模型的纳什均衡为 (有意谣言传播者发送真实信息，信息接收者转发信息)，同性质 9 所示。对有意谣言者进行适当的法律制裁，不仅能够对有意谣言传播者

的行为进行制约，而且能够达到不让谣言广泛传播的目的。

4 相关工作与比较

近几年在对网络信息传播中个体行为的研究中，主要通过建立以下几类模型进行研究^[11]。

(1)经典的 SIR(Susceptible-Infected-Removed)模型及其扩展模型。

(2)马尔科夫(Markov)等随机图模型及其扩展模型。

(3)随机 Petri 网模型。

(4)博弈模型。

因为前 3 类模型仅从传播信息的个体层面对信息传播个体的行为进行描述和分析，不能很好地反映个体行为在随时间、网络环境以及与其他用户的交互过程中的行为演变，因此博弈论成为现今研究网络用户行为的一种有力且强大的工具。

文献[11]通过建立动态博弈模型对具有竞争性的网络信息传播进行分析，以研究影响社会网络中具有竞争性的信息传播的因素，主要从传播者本身的知识结构、兴趣、记忆和意愿来探讨这些因素对行为的影响，并且传播者可以从自身和环境中进行学习来完成策略的动态更新。文献[12]从社会信息传播网络的传播规律和拓扑特性的角度，对危机信息在社会传播网络上的传播动力学博弈模型进行仿真研究。文献[13]以政府部门处理网络群体事件信息传播为背景，建立了政府部门和网民在信息传播过程中的演化博弈模型，对不同规模网络群体事件下政府应采取的应对措施进行了复制动态分析和仿真分析研究。文献[14]对谣言现象的研究成果及不同领域的谣言传播模型进行简要介绍，并综述了现有模型的特点及进展，提出建立基于 Agent 的复杂网络上的谣言传播模型的思想。文献[15]用博弈论来分析基于网络信息的决策主体——政府、媒体、公众在面对突发公共事件时相互之间的决策行为，同时分析政府如何对突发公共事件中的网络信息进行监督检查。文献[16]通过建立博弈模型去模拟信息传播过程的各个不同阶段，并将知识、信仰、记忆、信念以及声誉引入到收益函数中，去研究传播个体自身的特性因素对传播行为的影响。文献[11, 16]也得出了一个相似的结论：传播信息个体的知识结构在信息传播中起到非常重要的作用。文献[17]建立了一个非零和、非合作的纯策略博弈模型，具有纯策略 Nash 均衡，并将自我认知的知识、声誉和人气这些心理特性作为影响信息传播个体行为的因素，同时将网络全局属性如信息的整体质量和网络用户对不可靠信息的方式引入到模型当中。文中建立了一种反馈机制去控制信息发送者的声誉，并用于阻止谣言的传播。文献[18]讨论的是星型网络中信息传播的情形，文中建立的博弈模型是对文献[17]中的博弈模型的扩展，从双人博弈扩展到 N+1 多人博弈，来建模星型网络中一个信息发送者和 N 个信息接收者的信息传递行为。

文献[11]关注的重点是具有竞争性的网络信息，例如商业广告信息、产品信息等。本文关注的是一般性的网络信息，不具有竞争色彩，并且分析问题是站在消息传播者传播信息的目的上，而没有考虑传播者本身的个体特点和心理特征。文献[13]建立的是信息传播的演化博弈模型，本文建立的是完全信息的静态博弈模型。本文虽然建立的是静态模型，但

在建立模型时考虑到信息流动性的特点,即将信息接收者作为下一次信息传播者来看待,更利于今后分析多次博弈和动态博弈。文献[14]中指出谣言的形成和传播过程中存在大量不确定因素,而本文中建立的信息传播模型中接收者的传播行为仅受信任因素的制约,并且是对传播者的信任,这样能更好地挖掘出单一因素在信息传播规律中所起的作用。文献[15]中的博弈分析是将政府、媒体、公众3类完全不同的信息传播体作为参与者进行建模,而本文中模型1的参与者可以区分为媒体和公众或公众和公众,而其余模型中的参与者是完全属于公众这一类,没有其它传播体的干预,研究最原始最普遍的网络信息传播规律。在文献[16,17]建立的博弈模型中,网络传播个体作为信息传播者具有转发和不转发信息两种策略选择,作为信息接收者具有转发、反馈、不转发3种策略选择。本文博弈模型中参与者的策略集合与文献[16,17]博弈模型中参与者的策略集合完全不同,收益函数也完全不同。文献[18]是针对星型网络建立的多人博弈模型,本文建立的是针对一般网络的双人博弈模型。

本文与文献[11,16-18]建立的博弈模型还存在一个很大的不同即本文将信任引入到博弈模型中,充分体现了信任作为网络中不可缺失的力量对信息传播的影响,另外本文中根据实际网络中信息传播的随机情形,建立了纯策略和混合策略两种博弈模型。

结束语 本文以网络信息传播为背景,将博弈论作为主要分析工具,同时应用博弈论的方法,并结合多 Agent 技术对网络信息传播者进行模拟建模,针对不同的信息传播情景建立不同的博弈模型,并且通过对博弈参与者的利益诉求和收益的研究,分析不同的参与者在网络信息传播中的行为,得出相应的纳什均衡策略,并阐述各种模型带来的现实意义。最后,通过具体真实的网络信息传播实例介绍怎样将文中所建立的模型进行应用。

本文存在的不足和下一步的研究工作是:

(1)本文建立的模型中没有具体细化网络信息种类和传播群体类型。在下一步的研究中要细化网络信息种类以及传播群体类型,使建立的模型能够具有更好的拓展性和延展性,更加符合现实中网络信息传播的特点。

(2)本文建立的模型都是处于完全信息静态博弈条件的假设下,并且没有考虑信任值的动态变化^[19]。在下一步的研究中要对随时间和交互次数发生变化的信任值进行分析研究,来建立信息传播的动态博弈模型。

(3)本文研究的信任与信誉值^[20]没有关系,在下一步的研究中可以将传播者的信誉值作为对其信任的评判依据之一。

参 考 文 献

- [1] Hatzopoulos V, Simon T L, Kiss I Z. Multiple sources and routes of information transmission; Implications for epidemic dynamics [J]. *Mathematical Biosciences*, 2011, 231(2): 197-209
- [2] Fudenberg D, Tirole J. *Game Theory* [M]. Cambridge: MIT Press, 1991
- [3] 陈晶, 杜瑞颖, 王丽娜, 等. 网络环境下一种基于概率密度的信任博弈模型[J]. *电子学报*, 2010, 38(2): 427-433
- [4] 贺利坚, 黄厚宽. MAS中信任和信誉系统的研究进展[J]. *计算机科学*, 2011, 38(4): 1-8
- [5] Wooldridge M. *An Introduction to Multi Agent Systems* (second edition) [M]. Hoboken: John Wiley& Sons Ltd, 2009
- [6] 童向荣, 张伟. 基于信任和声誉的 Agent 组织信誉[J]. *计算机科学与探索*, 2007, 1(3): 325-3306
- [7] Easley D, Kleinberg J. *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World* [M]. Cambridge University Press, 2010
- [8] 李万, 田盛丰, 黄厚宽. 进化博弈论及 Agent 自组织动力学[J]. *计算机研究与发展*, 2006, 43(z1): 46-50
- [9] 田立勤, 林闯. 可信网络中一种基于行为信任预测的博弈控制机制[J]. *计算机学报*, 2007, 30(11): 1930-1938
- [10] 唐晨. 谣言的形成及传播[J]. *青年记者*, 2011(13): 10-11
- [11] Yu J, Wang Y, Li J, et al. Analysis of Competitive Information Dissemination in Social Network Based on Evolutionary Game Model [C] // 2012 Second International Conference on Social Computation and its Applications. 2012: 748-753
- [12] 张乐. 危机信息传播的社会网络结构和传播动力学研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009
- [13] 肖人彬, 张耀峰. 网络群体事件信息传播的演化博弈分析[J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2012, 9(1): 1-7
- [14] 张芳, 司光亚, 罗批. 谣言传播模型研究综述[J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2009, 6(4): 1-11
- [15] 吴瑞巍. 突发公共事件中群体网络信息行为的博弈分析[D]. 成都: 电子科技大学, 2010
- [16] Qiu W, Wang Y, Yu J. A game theoretical model of information dissemination in social network [C] // ICCS, 2012 International Conference. 2012: 1-6
- [17] Zinoviev D, Duong V, Zhang H. A game theoretical approach to modeling information dissemination in social networks [C] // Proceedings of the 4th International Conference on Knowledge Generation, Communication and Management. 2010: 407-412
- [18] Zinoviev D, Duong V. A game theoretical approach to broadcast information diffusion in social networks [C] // 44th Annual Simulation Symposium, Society for Computer Simulation International. 2011: 47-52
- [19] 童向荣, 黄厚宽, 张伟. 一种 Agent 组织信任计算模型[J]. *北京交通大学学报*, 2009, 33(5): 91-94
- [20] 童向荣, 黄厚宽, 张伟. Agent 动态交互信任预测与行为异常检测模型[J]. *计算机研究与发展*, 2009, 46(8): 1364-1370
- [21] 童向荣, 张伟, 龙宇. Agent 主观信任的传递性[J]. *软件学报*, 2012, 23(11): 2862-2870
- [22] Tong Xiang-rong, Huang Hou-kuan, Zhang Wei. Agent long-term coalition credit [J]. *Expert systems with applications*, 2009, 36(5): 9457-9465
- [23] 童向荣, 张伟. 基于模糊盟友关系的多主体系统长期联盟[J]. *计算机研究与发展*, 2006, 43(8): 1445-1449
- [24] 林闯, 田立勤, 王元卓. 可信网络中用户行为可信的研究[J]. *计算机研究与发展*, 2008, 45(12): 2033-2043
- [25] Refsdal A, Stølen K. Extending UML sequence diagrams to model trust-dependent behavior with the aim to support risk analysis [J]. *Science of Computer Programming*, 2008, 74 (1/2): 34-42
- [26] Green J R, Stokey N L. A two-person game of information transmission [J]. *Journal of Economic Theory*, 2007, 135(1): 90-104