

基于社会规范准则和联合抵制的节点激励机制研究

廖新考 王力生

(同济大学电子与信息工程学院 上海 201804)

摘 要 P2P 网络中的节点由于固有的理性将产生个人利益与系统性能相冲突的搭便车行为,从而极大地降低网络的性能和效用。在社会规范的基础上结合联合抵制敌我规则的思想,建立了一套应用于 P2P 网络的社会规范准则模型,该模型惩戒违反社会规范准则的节点,激励节点选择合作策略,并通过博弈收益分析给出模型均衡于合作策略的条件。仿真实验结果表明,该模型能够有效地激励节点协作和抑制节点搭便车行为。

关键词 对等网络,社会规范,联合抵制,搭便车,激励机制

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on Incentive Mechanism Based on Social Norms and Boycott

LIAO Xin-kao WANG Li-sheng

(Department of Electronic and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract Because of the nodes inherent rationality, P2P network system will generate the free-riding behavior that will cause the conflict between personal interests and system performance. This kind of behavior will greatly reduce the network efficiency and utility. A set of social norm model applied in P2P network was established based on the social norm in combination with the ideology of boycott. This mode can punish the nodes that have violated the social norm and stimulate nodes to select cooperation strategy, generate the condition of the balance of cooperation strategy through game revenue analysis. The results of the simulation experiment show that this model can both promote the node collaboration effectively and inhibit the free-riding behavior.

Keywords P2P network, Social norms, Boycott, Free-riding, Incentive mechanism

1 引言

随着 Internet 的广泛普及, P2P 技术在资源共享、流媒体、协同工作等方面显示出独特的优势,但是由于固有的理性,节点都希望最大化自己的利益和效用,同时最小化自己为其他节点提供的资源。大量节点做出这种理性选择的结果将是一种困境:对等网络的效率大幅降低,绝大部分节点都无法得到正常的服务,即产生了个人利益与系统性能相冲突的搭便车问题。2005 年 Gnutella 系统内 50% 以上的请求来自系统提供资源最多的 1% 的节点^[1]。在流行的对等网络文件共享系统 eDonkey 中^[2], 大约有 80% 的节点是搭便车节点, 热心提供服务的节点所提供的查询响应占全网节点响应的比例也相应地提高。如果不能有效解决这类节点自私性所造成的问题,将极大降低网络的性能和效用,降低系统抗攻击的健壮性和应对故障的稳定性,影响网络的进一步健康发展。因此,针对节点的自私性行为,很有必要研究适当的激励机制来约束节点的自私行为,激励节点之间的协作。

在现有的激励机制模型中,文献[3]采用加入一定的无私节点来保证基本服务,并用排队论的相关理论对网络性能进行了建模。但实际网络中的节点都是理性的,无私节点显得

过于理想化。文献[4]将拍卖竞价机制引入 BitTorrent 网络中,提出了成比例共享式的拍卖算法。文献[5]通过引入惩戒机制建立一种基于重复博弈和惩戒机制的网络信誉模型。文献[6]针对 P2P 系统中的洗白问题,提出一种新的激励机制并用进化稳定博弈的角度对该激励机制进行分析。文献[7]针对 P2P 组播中节点不合作行为提出基于市场模型的组播节点激励机制。文献[8]将社会规范引入到 P2P 系统中,又将该思想引入 P2P 流媒体、众包等应用环境^[9-11]。

本文将文献[8]中社会规范结合联合抵制思想建立一套社会规范准则应用于 P2P 系统中。节点如果违反社会规范准则,将受到其他节点联合抵制的惩罚,从而约束自私节点的搭便车行为。在社会规范准则模型的基础上提出并证明了模型均衡于合作策略的条件。仿真实验结果表明,在参数合理的情况下该社会规范准则激励机制能够使节点合作率上升到近 90%, 有效地激励节点之间的协作。

2 系统模型

2.1 节点交易博弈收益

假设两个节点交易的博弈收益如下,节点的策略选择包括合作与不合作两种,两节点的收益函数如表 1 所列。

到稿日期:2013-06-26 返修日期:2013-10-21 本文受国家高技术研究发展计划(863 计划)(2013AA040302)资助。

廖新考(1986—),男,博士生,主要研究方向为对等网络、信任模型激励机制, E-mail: lxx861201@126.com; 王力生(1954—),男,教授,主要研究方向为嵌入式系统、并行处理系统、GIS 系统、电子商务系统、信息安全系统。

表 1 节点交易的收益函数表

(i,j)	合作	不合作
合作	(V-P, V-P)	(-P, V)
不合作	(V, -P)	(0, 0)

根据表 1 的两节点博弈收益函数可知,该模型是典型的囚徒困境模型,该模型的纳什均衡属于占优均衡,各个理性节点选择占优策略能够使整个系统达到纳什均衡状态,即都选择不合作策略(不合作,不合作)。

2.2 社会规范模型

网络的动态性和开放性的特点与社会网络有一些相似,网络中的节点对应着社会网络中的人,而节点之间的关系对应着社会网络中人与人之间的社会关系。节点的囚徒困境模型中如果没有外界的约束或者激励,那么理性节点将选择不合作这个占优策略达到纳什均衡。在社会中类似的人与人之间的交易也存在着欺骗或者背叛的风险,如果没有外界约束或者法律规范,人与人之间的交易也将选择利于自身最优的策略即背叛欺骗,整个社会交易将陷入欺骗交易危机。社会交易上的法律和规则的产生就是规范人们的交易行为。同样这些规则也适用于网络中的节点。本文将借鉴文献[8]中的社会规范模型,结合联合抵制来促进节点交易的积极性。

社会规范模型由社会策略选择和规范规则构成。社会策略选择表示节点根据对方节点的信誉而采取的行为策略函数。规范规则是一系列的信誉转变规则,通过信誉变化来规范节点的交易行为。

节点的信誉则代表节点的社会贡献价值。信誉值越高表示该节点对整个系统的贡献越大。本文中通过有限的、连续的整数集合 $\Theta = \{1, 2, 3, \dots, \theta_G, \dots, \theta_M\}$ 表示节点的信誉。 θ_G 是节点是否自私的评判标准。如果节点的信誉值低于 θ_G , 则该节点属于自私节点,应受到相应的惩罚;如果节点的信誉值高于 θ_G , 则该节点属于诚实节点。

节点策略即包括合作与不合作两种,即

$$A = \begin{cases} C, & \text{合作} \\ D, & \text{不合作} \end{cases}$$

2.2.1 社会策略选择

社会策略选择 σ 则表示节点根据自身信誉值和对方节点信誉信息而采取的策略选择,即 $\sigma: \Theta \times \Theta \rightarrow A$ 。第一个 Θ 表示节点自身的信誉值,第二个 Θ 表示交易节点的信誉值, A 为策略选择合作或者不合作。规范规则 τ 即表示系统规定了一系列行为准则来规范节点的交易行为,遵守这些规则将能够获得信誉提高的奖励,否则将受到一定的惩罚。本文即采用联合抵制的一些规则,即 $\tau: \Theta \times \Theta \times \sigma \rightarrow \Theta$, 前两个 Θ 表示自身和交易节点的信誉, σ 表示该节点的社会策略选择,第三个 Θ 表示节点转变后的信誉值。

2.2.2 规范准则

这里的联合抵制^[12]是指:每一个节点都应该诚实,都应该和别的诚实节点合作,而不应该不合作、自私自利;并且每一个节点都有责任去惩罚那些曾经欺骗过的恶意节点;如果节点不惩罚欺骗过的节点,那么该节点就应该受到其他节点的惩罚。这里借鉴敌友规则:1. 朋友的朋友是朋友;2. 朋友的敌人是敌人;3. 敌人的朋友是敌人。因此诚实节点的朋友即诚实节点也是朋友关系,可以建立合作关系;欺骗了诚实节点的节点(即朋友的敌人)是敌人,应当受到惩罚,即不与它合

作;不惩罚自私节点的节点(即敌人的朋友)是敌人,同样应受到惩罚。

规则 1 每一个节点都应该诚实,都应该和别的诚实节点合作,即

$$\tau(\theta, \theta', \sigma(\theta, \theta')) = \min\{\theta_M, \theta + 1\}, \theta' \geq \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = C \quad (1)$$

θ' 高于 θ_G 说明该节点是诚实节点,如果节点 θ 对 θ' 的策略选择是合作,那么通过提高节点的信誉值来奖励合作节点, θ_M 是信誉值的峰值。这里 θ 包括低于 θ_G 的自私节点和高于 θ_G 的诚实节点。高于 θ_G 的诚实节点如果选择合作策略,系统则提高它的信誉值以激励其合作的积极性。如果该节点的信誉值低于 θ_G , 说明该节点属于自私节点,在这次交易之前就欺骗过其他节点,那么它必须通过选择合作策略接受惩罚来提高自身的信誉值。如果节点 θ 选择不合作,那么将受到相应的惩罚。

$$\tau(\theta, \theta', \sigma(\theta, \theta')) = \begin{cases} \theta_G - \alpha, & \theta, \theta' \geq \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = D \\ 0, & \theta < \theta_G' \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = D \end{cases} \quad (2)$$

如果本身是诚实节点的节点 θ 在策略选择中选择不合作,那么认定该节点为自私节点,必须接受惩罚,信誉值降为 $\theta_G - \alpha$, 标记为自私节点, α 为惩罚力度,指该节点必须经过 α 次与其他节点的合作才能变回诚实节点, $\alpha < \theta_M$ 。如果节点 θ 小于 θ_G , 说明该节点是自私节点,之前已经欺骗过其他节点,该节点本应当接受惩罚选择与其他节点合作,而它却选择继续不合作,那么该节点应当受到更加严厉的惩罚,即信誉值清零,则该节点必须经过 θ_G 次合作才能变回诚实节点。

规则 2 每一个节点都有责任去惩罚那些曾经欺骗过的恶意节点,即

$$\tau(\theta, \theta', \sigma(\theta, \theta')) = \theta, \theta' < \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = D \quad (3)$$

其中, $\theta' < \theta_G$ 说明 θ' 为自私节点,系统中其他的节点应当联合起来抵制该节点,选择不与之合作。该行为属于一种节点的责任,系统不为该方式进行奖励,所以节点 θ 的信誉值没有改变。相反,如果节点 θ 不履行这个责任,而选择和节点 θ' 合作,那么节点 θ 属于敌人的朋友(即敌人),需受到相应的惩罚,即规则 3。

规则 3 如果节点不惩罚欺骗过的节点,那么该节点就应该受到其他节点的惩罚,即

$$\tau(\theta, \theta', \sigma(\theta, \theta')) = \begin{cases} \theta_G - \alpha, & \theta \geq \theta_G \text{ and } \theta' < \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = C \\ \theta + 1, & \theta < \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = C \end{cases} \quad (4)$$

如果 θ 是正常节点,则它没有尽到惩罚那些欺骗过的恶意节点的义务,即违反了规则 2, 应受到相应的惩罚。而 θ 是自私节点,那么该节点必须接受相应的惩罚。

结合以上 3 个规则,社会规范的规范准则综合如下:

$$\tau(\theta, \theta', \sigma(\theta, \theta')) = \begin{cases} \min\{\theta_M, \theta + 1\}, & \theta' \geq \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = C \\ \theta_G - \alpha, & \theta, \theta' \geq \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = D \\ 0, & \theta < \theta_G' \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = D \\ \theta, & \theta' < \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = D \\ \theta_G - \alpha, & \theta \geq \theta_G \text{ and } \theta' < \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = C \\ \theta + 1, & \theta < \theta_G \text{ and } \sigma(\theta, \theta') = C \end{cases} \quad (5)$$

2.2.3 状态流转图

如果交易节点 θ' 为正常节点,那么节点 θ 的信誉状态流

程图如图 1 所示,每个状态表示节点的信誉, C 和 D 分别表示策略选择合作和不合作, G 即自私节点和正常节点的分界标准 θ_G ; 每个节点都应当遵守规范准则, 即每个节点都应与其他节点合作, 否则将受到联合抵制的惩罚, 信誉值降为 $\theta_G - \alpha$, 并必须接受 α 次与其他节点合作的惩罚。

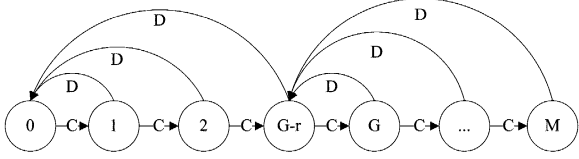


图 1 状态流转图

2.3 博弈分析

设贴现因子为 δ , 假定在 $r+1$ 的时刻内, 交易节点选择合作策略, 如果自身节点策略选择合作, 那么合作策略的期望收益为:

$$E1 = \sum_{k=0}^r (V-P) \times \delta^k \quad (6)$$

如果节点选择不合作策略, 第一次能够获得 V 的超额收益, 但是在后面的 r 次需要接受其他节点不合作的惩罚。故节点选择不合作策略的期望收益如下:

$$E2 = V + \sum_{k=0}^r (-P) \times \delta^k \quad (7)$$

因此, 只要 $E1 > E2$, 即有

$$\sum_{k=0}^r (V-P) \times \delta^k > V + \sum_{k=1}^r (-P) \times \delta^k \quad (8)$$

解得

$$\frac{\delta(1-\delta^r)}{1-\delta} > \frac{P}{V} \quad (9)$$

那么节点选择与其他节点合作的积极性将更高, 而不是选择不合作策略。

定理 1 对于自私节点接受惩罚策略和不接受惩罚策略, 系统均衡于接受惩罚策略。

证明: 如果节点接受惩罚, 那么只要接受 r 次其他节点对它的非合作惩罚, 其期望收益如下:

$$E3 = -P + \sum_{k=0}^r (-P) \times \delta^k \quad (10)$$

而如果节点不接受惩罚, 那么它的信誉值将清零, 至少需要接受 $L (L \geq \theta_G)$ 次惩罚, 则其期望收益如下:

$$E4 = \sum_{k=0}^L (-P) \times \delta^k \quad (11)$$

显然, $E3 > E4$, 故系统中的自私节点将趋向于接受惩罚。

定理 2 对于正常节点惩罚自私节点中惩罚策略和不惩罚策略, 系统将均衡于惩罚策略。

证明: 如果节点选择惩罚自私节点策略即选择与自私节点不合作策略, 那么节点当前的收益为 V , 后面 r 次为正常节点收益, 故其期望收益如下:

$$E5 = V + \sum_{k=0}^r (V-P) \times \delta^k \quad (12)$$

如果节点选择不合作, 那么当次节点收益为 $-P$, 而后将受到 r 次其他节点不合作的惩罚, 故其期望收益如下:

$$E6 = -P + \sum_{k=0}^r (-P) \times \delta^k \quad (13)$$

显然, $E5 > E6$, 故系统将均衡于惩罚策略。

因此, 综上所述, 只要 δ 和 r 满足

$$\frac{\delta(1-\delta^r)}{1-\delta} > \frac{P}{V} \quad (14)$$

系统中节点都将更积极地选择合作策略, 节点都趋向于选择惩罚自私节点, 而自私节点也都更愿意接受惩罚, 系统最终也将均衡于合作策略, 即(合作, 合作)将作为系统的一个纳什均衡存在。

3 实验仿真

3.1 有效性实验

通过 MATLAB 设计仿真实验来验证分析该社会规范准则激励机制的有效性和准确性, 并分析系统中不同参数对社会规范准则模型的影响。在仿真实验中设定网络中的节点总数为 1000 个, 系统中的参数设为 $V=10, P=8, \delta=0.8, \theta_M=40, \theta_G=8, r=3$; 节点分为自私节点和合作节点, 初始自私节点和合作节点所占的比例均为 50%。实验对比了未采用激励机制的模型与采用社会规范准则激励机制的模型中自私节点和合作节点的数量变化, 仿真结果如图 2 所示, SN 为社会规范准则激励机制, NUN 为未采用激励机制。

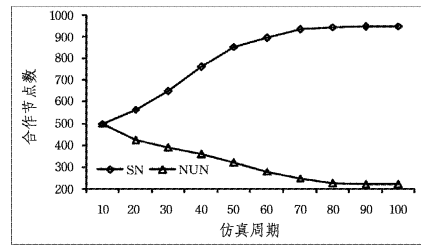


图 2 合作节点数量随仿真周期变化的折线图

由图 2 的仿真结果可以看出, 随着时间周期的推移, 系统在社会规范准则的激励作用下, 自私节点由于害怕联合抵制的风险逐渐转变为合作节点, 数量逐渐减少, 而合作节点逐渐增加并达到一个稳定的数量, 系统达到纳什均衡状态, 即均衡于合作策略。而无激励机制模型由于节点的理性自私性, 均趋向于选择不合作策略以获取额外收益, 因此自私节点的数量逐渐增加并达到稳定的数量, 系统达到纳什均衡状态, 由此产生普遍的搭便车现象。

3.2 惩罚因子 r 对模型的影响实验

本实验通过测量对应于不同的惩罚因子 r 的节点平均收益情况 (其他参数设为 $V=10, P=8, \delta=0.6, \theta_M=60, \theta_G=12$), 分别测试 3 种不同惩罚因子 r 值环境下的节点合作率变化。L1 中 $r=1, L2$ 中 $r=4, L3$ 中 $r=6, L4$ 中 $r=2$ 。惩罚因子 r 越大则表示对自私节点的惩罚力度越大, 自私节点需要接受 r 次联合抵制, 如果不接受则需要重新接受 θ_G 次联合抵制。

如图 3 所示, 在 L1 中, 因为 $r=1, p/v=0.8$, 式(14)中的条件无法满足, 因此系统将均衡于不合作策略。当 r 满足合作均衡条件时, 则随着惩罚因子 r 的增加, 自私节点转变为正常节点需要接受的联合抵制次数增加, 导致这些自私节点的收益减少而正常节点收益增加, 如果自私节点比重高于合作节点, 则将降低系统的平均收益; 随着惩罚因子的增加, 自私节点转变为正常节点的周期变长, 而自私节点也更加害怕被惩罚, 因此自私节点转变为合作节点的速率加剧, 系统更快地达到纳什均衡状态, 平均收益变得趋向于稳定。 r 越小则自私节点接受联合抵制的力度越小, 自私节点转变成合作节点的周期变短, 自私节点转变成正常节点也就变得更加容易, 自

(下转第 35 页)

cess systems[S]. New York: IEEE, 2004

- [2] IEEE 802.16 WG. IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems, amendment 2: Physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands and corrigendum[S]. New York: IEEE, 2006
- [3] IEEE 802.16 WG. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems, Amendment 3: Advanced Air Interface[S]. New York: IEEE, 2011
- [4] Chakchai S, Jain R, Tamimi A K. Scheduling in IEEE 802.16e mobile WiMAX networks: key issues and a survey [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2009, 27(2): 156-171
- [5] Msadaa I C, Camara D, Filali F. Scheduling and CAC in IEEE 802.16 fixed BWNs: a comprehensive survey and taxonomy[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2010, 12(4): 459-487
- [6] Chaari L, Saddoud A, Maaloul R, et al. A comprehensive survey on WiMAX scheduling approaches[M]// Quality of Service and Resource Allocation in WiMAX. Europe; InTech, 2012; 25-58
- [7] Jalali A, Padovani R, Pankaj R. Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency high data rate personal communication wireless system[C]// Vehicular Technology Conference Proceedings. Tokyo, Japan, 2000; 1854-1858
- [8] Viswanath P, Tse D, Laroia R. Opportunistic beamforming using

dumb antennas[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2002, 48(6): 1277-1294

- [9] Andrews M, Kumaran K, Ramanan K, et al. CDMA data QoS scheduling on the forward link with variable channel conditions [R]. Bell Labs Technical Report, 2000
- [10] Laias E, Awan I, Chan P M. An integrated uplink scheduler in IEEE 802.16[C]// the second UKSIM European Symposium on Computer Modeling and Simulation. Liverpool, England, 2008; 518-523
- [11] Nagaraju C, Sarkar M. A packet scheduling to enhance quality of service in IEEE 802.16[C]// the World Congress on Engineering and Computer Science. San Francisco, USA, 2009; 1-6
- [12] Kitti W, Aura G. Packet scheduling for QoS support in IEEE 802.16 broadband wireless access systems [J]. International Journal on Communications, 2003, 16(1): 81-96
- [13] Shang Y L, Cheng S D. An enhanced packet scheduling algorithm for QoS support in IEEE 802.16 wireless network[C]// the Third International Conference on Networking and Mobile Computing. Zhangjiajie, China, 2005; 652-661
- [14] Gan W, Xiao J Q, Xie X Z, et al. A cross-layer designed scheduling algorithm for WiMAX uplink[C]// The Ninth International Conference on Electronic Measurement and Instruments. Beijing, China, 2009
- [15] Zhang Q Q, Kassam S A. Finite-state Markov model for Rayleigh fading channels [J]. IEEE Transactions on Communications, 1999, 47(11): 1688-1692

(上接第 30 页)

私节点被惩罚的风险降低,导致更多的正常节点选择不合作,使得部分正常节点向自私节点转变,最终达到纳什均衡状态。初始合作节点的比重越高,转变为自私节点的数量也越大,则有更多的正常节点利益受损,系统的平均收益降低。

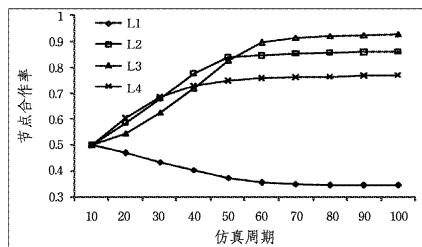


图 3 不同惩罚因子 r 环境下节点合作率随仿真周期变化的折线图

结束语 本文借鉴社会规范中联合抵制的思想,建立一套社会规范准则来规范网络中节点的交易行为,每个节点都必须严格遵守该社会规范准则,否则将受到相应的惩罚。在社会规范准则模型的基础上,提出了节点趋向选择的一些定理和条件,并通过博弈论的相关知识证明了定理的正确性。通过仿真实验验证和分析了规范准则模型中一些参数对该社会规范激励机制的影响,结果表明当模型参数满足条件时,社会规范准则模型能够有效地激励节点选择合作和惩罚自私节点,从而抑制搭便车行为。但文中的仿真环境较理想,未来将研究如何将模型应用于实际的网络环境中。

参考文献

- [1] Teacy W T L, Patel J, Jennings N R, et al. Travos: Trust and reputation in the context of inaccurate information sources[J].

Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2006, 12(2): 183-198

- [2] Khambatti M, Dasgupta P, Ryu K D. A role-based trust model for peer-to-peer communities and dynamic coalitions[C]// The 2nd IEEE Int'l Information Assurance Workshop. Charlotte: IEEE Computer Society, 2004; 141-154
- [3] 余一娇,金海. 对等网络中的搭便车行为分析与制综述[J]. 计算机学报, 2008, 31(1): 1-15
- [4] Levin D. BitTorrent is an Auction; Analyzing and Improving BitTorrent's Incentives[C]// Proceedings of Sigcomm. 2008
- [5] 孟宪福,王动. 基于重复博弈和惩戒机制的 P2P 协作激励信誉模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010(5): 886-892
- [6] 欧阳竟成,林亚平,周四望,等. 基于博弈论的 P2P 系统激励机制[J]. 计算机工程, 2009, 35: 207-209
- [7] 王浩云,徐焕良,任守纲,等. 基于第二价拍卖理论的 P2P 网络组播节点激励机制研究[J]. 计算机科学, 2012, 39: 41-45
- [8] Zhang Yu, Park J, van der Schaar M. Peer-to-Peer Protocol Designs based on Social Norms[R]. UCLA Technical Report, 2009
- [9] Zhang Yu, van der Schaar M. Peer-to-Peer Multimedia Sharing based on Social Norms[C]// Signal Processing; Image Communication. 2012
- [10] Zhang Yu, van der Schaar M. Reputation-based Incentive Protocols in Crowdsourcing Applications[C]// INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE, 2012; 2140-2148
- [11] Zhang Y, Park J, van der Schaar M. Designing Social Norm Based Incentive Schemes to Sustain Cooperation in a Large Community[C]// Proc. 2nd International ICST Conf. on Game Theory for Networks, 2011
- [12] 张维迎. 博弈与社会[M]. 北京: 北京大学出版社, 2013: 149-151