

基于节点策略学习行为的社交网络合作促进机制

杨文潮^a, 王际科^b, 崔光海^a

(鲁东大学 a. 信息与电气工程学院; b. 科技处, 山东 烟台 264025)

摘 要: 已有节点合作激励机制通常使用节点历史交易信息, 信息的存储和处理会带来较大开销, 且可能存在恶意节点反馈的虚假信息。针对上述问题, 提出一种基于节点自身属性调整的合作激励机制。节点依据自己在策略学习过程中是失败者还是成功者来对自己发起的交易数量进行调整。实验结果表明, 网络中合作节点比例较不使用机制时有显著提高, 且当存在节点策略选择扰动时, 合作节点比例在网络演化均衡态保持了较好的稳定性。

关键词: 社交网络; 节点合作; 激励机制; 空间演化博弈论; 策略学习

中文引用格式: 杨文潮, 王际科, 崔光海. 基于节点策略学习行为的社交网络合作促进机制[J]. 计算机工程, 2017, 43(11): 140-145.

英文引用格式: YANG Wenchao, WANG Jike, CUI Guanghai. Cooperation Promotion Mechanism of Social Networks Based on Nodes Strategy Learning Behaviors[J]. Computer Engineering, 2017, 43(11): 140-145.

Cooperation Promotion Mechanism of Social Networks Based on Nodes Strategy Learning Behaviors

YANG Wenchao^a, WANG Jike^b, CUI Guanghai^a

(a. School of Information and Electrical Engineering; b. Department of Science and Technology,
Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China)

[Abstract] Proposed node cooperation incentive mechanisms are always based on historical transaction information of nodes. Besides the considerable costs of information storage and process, there also exists fraudulent transaction information provided by malicious nodes. Aiming at these questions, it establishes a cooperation incentive mechanism based on adjustments of node property. Nodes adjust the number of their performed transactions depending on being a winner or loser in the learning process of strategies. Simulation results show that the fraction of cooperators significantly increases compared to the original scenario in which the mechanism is not used, and the cooperator fraction has good stability in the equilibrium state when disturbances exist in node strategy selection process.

[Key words] social network; node cooperation; incentive mechanism; spatial evolutionary game theory; strategy learning
DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.11.023

0 概述

随着社会和技术的发展, 近年来社交网络得到了快速的发展和广泛的应用。同 P2P(peer-to-peer) 等自组织网络一样, 社交网络中的资源通常是通过节点间的自愿资源共享来获得。由于网络中的节点在提供如资源转发或共享等合作服务时自身会产生花费, 因此大部分的理性节点在默认情况下常会采用只向其他节点请求资源而自身不提供资源共享服务的不合作行为, 这造成了网络中共享资源不足的问题^[1]。虽然节点在资源共享方面的自私行为不会直接破坏网络的运行, 但会导致网络中节点无法获

得所请求资源的问题, 严重的会导致网络的崩溃^[2-4]。针对这个问题, 文献[5-7]对社交网络等自组织网络中的节点合作激励或促进机制进行了研究。

已有社交网络研究中节点合作促进或激励机制通常是基于节点信誉或慷慨度为不同节点提供有区分的资源共享等服务。节点信誉值的计算需要使用节点的历史交易信息, 而交易信息的存储、节点信誉的表示、计算和传播等都会产生较大的花费。另外, 社交网络很难直接对节点的行为进行记录, 这些信息通常只能通过交易涉及节点提供的反馈数据来获得。由于部分恶意节点为了自身利益会反馈一些虚

基金项目: 山东省高校科技发展计划项目(2013YD01031); 山东省自然科学基金(ZR2010GM013)。

作者简介: 杨文潮(1969—), 男, 高级实验师、硕士, 主研方向为人工智能; 王际科, 讲师、硕士; 崔光海, 讲师、博士。

收稿日期: 2016-10-20 **修回日期:** 2016-11-29 **E-mail:** lduforms2015@163.com

假和错误的交易信息,因此信息的真实性也会对机制的有效性产生影响。

社交网络中的节点行为是由节点用户来操控的,其体现了理性用户的策略选择行为。因此,节点的策略选择具有极强的主观性和社会性。博弈论(非合作博弈)作为一种对理性节点行为进行建模和预测的工具,近年来已经在社交网络、移动自组织网络和 P2P 等网络的节点合作激励研究中得到了广泛的应用^[8-10]。在文献[11]使用博弈论对网络个体的合作行为演化进行研究后,空间演化博弈论已成为研究网络中节点行为动力学的有效工具^[12-14]。不同于经典博弈中的个体均衡策略求解,空间演化博弈论主要是关注和研究网络中的个体针对当前网络环境所进行的策略调整的演化过程,以及演化稳态网络中各策略的占比情况。

本文在不使用节点历史交易信息的情况下,提出基于节点间策略学习行为对发起交易次数进行调整的合作促进机制,并使用空间演化博弈论方法对机制的有效性进行检验。

1 节点交互模型

1.1 博弈模型

博弈模型通常由 3 个部分组成:参加博弈的个体,个体策略和收益。社交网络中参加资源共享交易(博弈)的个体为网络中的理性节点用户,个体可用策略为合作策略 C (cooperation) 和背叛策略 D (defection)。采用 C 策略的个体是网络中的合作节点,其会无条件为所有交易节点提供资源共享服务;采用 D 策略的个体是网络中的背叛节点,其不会为任何资源共享交易节点提供服务。节点 i 采用 C 或 D 策略时,其策略使用向量 S_i 来表示:

$$S_i = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ 或 } S_i = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

两节点进行资源共享博弈时,如果 2 个节点都采用合作策略,那么 2 个节点都会获得资源,同时也都需承担资源共享所带来的花费(节点的收益都为 R);如 2 个节点分别采用 C 和 D 策略,合作节点不会获得资源且需承担共享花费(收益为 S),而背叛节点则会在不产生花费的情况下获得所请求的资源(收益为 T);当 2 个节点都采用 D 策略时,2 个节点虽然都不能获得所请求的资源,但也都不会产生资源共享花费(都获得收益 P);基于网络中节点间的资源共享交易关系,将 2 个节点间的一次资源共享交易过程建模为两人囚徒困境博弈模型^[8-9],节点博弈收益矩阵 A 如图 1 所示。

		节点2	
		C	D
节点1	C	R/R	S/T
	D	T/S	P/P

图 1 节点博弈收益矩阵

参数值满足 $T > R > P > S$ 。由一轮博弈的均衡策略分析可知,默认情况下 2 个理性节点都会选择背叛策略,即背叛策略是博弈的均衡策略。另外,为了防止节点交替使用合作和背叛策略来获得最大收益,参数还要满足 $2R > T + S$ 。

1.2 交互关系

在社交网络中,2 个节点互为邻居节点通常表示它们之间有过或有潜在的资源共享等交易关系。因此,节点在发起资源共享交易时,会从其邻居节点中选择交易节点。基于此,模型中设定节点在发起一轮资源共享交易时,会随机的从其邻居节点中选择一个节点进行交易。节点 i 在某个时间段的收益 P_i 可通过式(2)进行计算:

$$P_i = \sum_{j \in N_i} S_i^T A S_j \quad (2)$$

其中, A 为节点资源共享博弈收益矩阵; N_i 表示当前时间段与节点 i 进行过资源共享博弈(包括 i 节点发起的和其邻居节点发起的)的节点列表。注意,由于节点 i 在一个时间段内可以和某个邻居节点 k 进行多次资源共享博弈,因此节点 k 在列表中可能会出现多次。

2 节点策略演化

由于实际的网络环境是复杂的,且节点获得信息和进行行为决策的能力是有限的,因此网络中的节点通常很难直接找到自己的最优策略。另外,节点为了最大化自身的当前收益,其策略会随着网络环境的变化不断的改变,因此,在不同时刻节点的最优策略也可能是不同的。基于此,模仿学习临近节点的成功行为(收益较高)成为个体在复杂网络环境中优化自己策略的一种常用和有效的方法。在策略学习阶段,节点 i 会随机的从自己的交易邻居中选择一个节点 j 来进行学习,节点 i 采用节点 j 策略的概率(Pr_{ij})通过费米方程(Fermi)来进行计算^[4,12,15]:

$$Pr_{ij} = \frac{1}{1 + \exp(\frac{P_i - P_j}{K})} \quad (3)$$

其中, P_i 和 P_j 分别表示节点 i 和节点 j 在当前时间段内的收益。节点在获得待比较的邻居节点的收益等信息时,由于网络中存在很多的干扰因素,因此其获

得的数据有时可能会存在错误。因此,当邻居节点的收益比该节点低时,其也会以很低的概率学习邻居节点的策略。参数 K 描述了网络中数据获取存在的干扰或噪音的程度, $K=0$ 时表示不存在数据干扰,即节点 i 会确定的采用或不采用节点 j 的策略。当 $K \rightarrow \infty$ 时,节点获得的数据没有价值,节点只能通过随机选择策略的方式来优化自己的策略。基于已有研究,所有研究中取 $K=0.1$ [12-13]。

3 合作促进机制

在网络节点进行资源共享交易的过程中,理性节点为了最大化自己的收益或减少自己的损失,其通常会根据自己对当前交易风险的有限判断,来动态调整发起交易次数等属性。在节点策略的演化过程中,当一个节点 i 学习并采用其邻居节点 j 的策略时,对于节点 j 来说,由于其策略被模仿,因此可认为其策略是当前环境中成功的策略;对于节点 i 来说,由于其使用节点 j 的策略来替换自己的当前策略,因此其策略可认为是失败的策略。如果一个节点的策略是较成功的,其通常会通过增加自己发起的交易数量来进一步提高自己的收益。如果一个节点的策略是失败的,其通常会通过减少自己发起的交易数量来减少自己的损失(新策略是否能够真正的提高自己的收益还需在以后的交易中进行检验)。资源共享交易过程中节点发起的交易数量的调整过程如算法 1 所示。

算法 1 节点发起的交易数量调整算法

1. for 网络中每个节点 i
2. if 节点 i 学习邻居节点 k 的策略
3. //节点 i 减少交易次数
- $TS_i = \max(TS_i - TS_{iadj}, 1)$;
4. //节点 k 增加交易次数
- $TS_k = \min(TS_k + TS_{kadj}, TS_{kmax})$;
5. end if
6. end for

算法中参数 TS_i 和 TS_{imax} 分别表示节点 i 的当前交易发起次数和最大交易发起次数,节点 i 的最大交易发起次数等于其在网络中的邻居的数量。 TS_{iadj} 表示节点 i 每次调整的发起交易次数,可通过以下公式进行计算:

$$TS_{iadj} = \lceil m \times TS_{imax} \rceil \quad (4)$$

其中, m 表示节点 i 每次调整的发起交易次数占自己最大交易发起次数的百分比。当网络中所有节点都使用相同的发起交易次数调整值时, TS_{adj} 表示节点每次的发起交易次数调整值。

4 仿真和结果分析

4.1 仿真设置

研究中使用蒙特卡罗仿真的方法来对网络中节点的合作行为演化进行研究 [12-13,15]。为了能够更好地对多种情况下调整机制对网络中节点合作行为促进的有效性进行分析,基于已有研究 [11,13-14],本文使用弱囚徒困境博弈收益矩阵 A ,矩阵 A 中变量取值: $R=1, T=B(1 \leq B \leq 2), P=S=0$ 。调整后的弱囚徒困境博弈收益矩阵中仅有背叛合作节点收益 B 一个变量, B 的值越大代表节点在资源共享交易中选择背叛行为(不合作)的诱惑越大。虽然调整后的收益矩阵不完全满足原始囚徒困境博弈收益矩阵的参数关系,但仍能够很好地对节点资源共享博弈中的合作困境进行刻画。

针对特定参数取值的节点策略演化仿真由一系列离散的蒙特卡罗时间步组成。每个蒙特卡罗时间步由 3 个部分组成:1)网络中节点按规则与邻居节点进行资源共享博弈并计算自己在博弈中的收益;2)节点依据费米方程通过策略模仿来优化自己的当前策略;3)节点基于策略学习行为来调整自己在下个时间步发起的资源共享交易数量。一个蒙特卡罗时间步的具体组成过程如算法 2 所示。

算法 2 蒙特卡罗仿真每个时间步的组成

1. for 每个蒙特卡罗时间步
2. for 网络中每个节点 i
3. for ($t=1; t \leq TS_i; t++$)
4. 节点 i 随机选择一个邻居 j 进行资源共享博弈;
5. 节点 i 和 j 计算所获得的收益;
6. end for
7. end for
8. for 网络中每个节点 i
9. 节点 i 随机选择一个邻居 k ;
10. 节点 i 以 Pr_{ik} 的概率在下个时间步采用节点 k 的策略;
11. end for
12. 所有节点更新当前的策略;
13. 所有节点清空当前收益;
14. 所有节点调整自己发起的交易数量;
15. end for

初始时 2 种策略(合作和背叛)的节点以相同的比例随机的分布在网络中。为了能够更好地对发起交易次数调整机制对节点合作行为的影响进行分析,本文首先使用规则网络来对机制的有效性进行研究,规则网络采用 100×100 的格子网络(冯·诺依曼 4 邻居)。另外,由于实际社交网络的节点度分布是不均

匀的,因此也使用 ER 随机网络对机制的有效性进行了验证。为了提高数据的可靠性,所有相关数据点都是通过 100 次仿真取平均值的方法获得。

4.2 节点策略演化均衡分析

检验节点合作促进机制有效性的主要指标是网络进入演化稳态时(给定各参数值),网络中合作节点所占的比例。为了研究网络中节点策略随时间的演化过程及最后是否能够入演化稳态,图 2 给出了当 $TS_{adj}=2$, B 分别为 1.1、1.2、1.23 时,网络中合作节点的比例随时间的演化过程。为了与正常情况下的结果(没有调整机制)进行比较,图中也给出了正常情况下合作节点的比例随时间的演化过程($TS_{adj}=0$, $B=1.1$)。

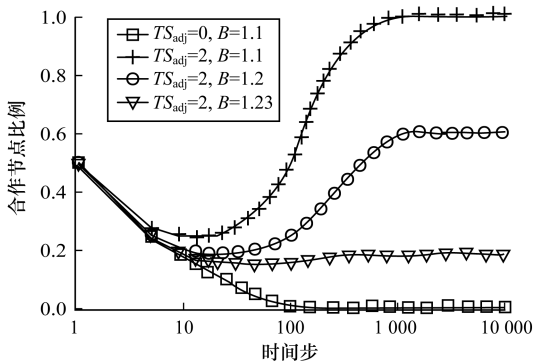


图 2 合作节点比例随时间的演化过程

从节点策略的演化过程能够发现,网络中节点的策略经过 1 000 多个时间步的演化后进入演化稳态。在演化稳态,合作节点的比例分别近似为:0% ($TS_{adj}=0$, $B=1.1$), 100% ($TS_{adj}=2$, $B=1.1$), 60% ($TS_{adj}=2$, $B=1.2$) 和 20% ($TS_{adj}=2$, $B=1.23$)。因此,当网络中使用调整机制后,网络中节点之间的合作行为能够被有效地促进(合作节点的比例得到提高)。另外,由前面对博弈收益矩阵 A 的分析可知, B 的值越大,节点之间的合作行为越不容易维持,因此,如图 2 所示,随着 B 值的增大,机制对节点合作行为的促进逐渐变弱。

为了进一步分析在给定 B 值的情况下,不同的节点发起交易次数调整幅度对节点合作行为的影响,图 3 给出了 $B=1.2$ 时, TS_{adj} 分别为 0、1、2、3 时网络中合作节点的比例随时间的演化情况。从结果中可以得到如下结论:1) 节点策略的演化在 1 000 多个时间步后进入演化稳态,即网络中使用合作策略的节点的比例只在一个很小的范围内波动。2) 通过对结果的分析还可以发现,随着节点发起交易次数调整值的增大,合作行为能够得到更有效地促进。

需要注意的是,虽然 $TS_{adj}=1$ 时在网络演化稳态合作节点的比例也为 0 (同节点不进行发起交易次数调整的情况一样),但是从合作节点比例的演化过程可以发现,当 $TS_{adj}=1$ 时,合作节点在网络中的存在时间比没有调整的情况($TS_{adj}=0$)要长,即节点的合作行为还是在一定的程度上得到了促进。

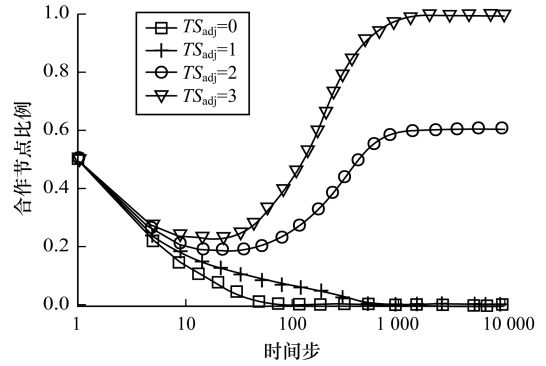


图 3 合作节点比例随时间的演化过程 ($B=1.2$)

4.3 合作促进机制有效区间分析

由于博弈模型中的参数 B 代表了背叛节点(不提供资源共享)和合作节点进行博弈时所获得的收益,因此参数 B 的值越大理性节点选择不合作策略的诱惑越大。因此,对于节点合作促进机制来说,其对节点合作行为促进的有效性可通过网络中节点合作行为能够存在时(演化稳态) B 的取值范围来检验。

针对所提出的机制,图 4 给出了针对不同的节点发起交易次数调整值,在网络演化稳态合作节点比例随 B 的变化情况。结果中的每组参数对应的数据点是当网络进入演化稳态后,通过计算最后 2 000 个时间步中合作节点比例的平均值获得(前面至少进行 10 000 个时间步的演化)。

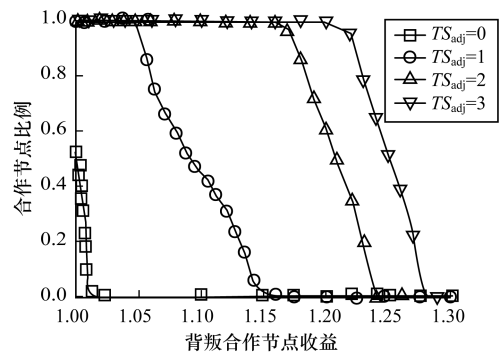


图 4 演化稳态合作节点比例随 B 的变化情况

4.4 节点发起交易次数演化过程

由于网络中的理性节点可以根据自己对当前网络交易环境的感知来调整自己发起的资源共享交易次数,因此除了网络中合作节点的数量,合作节点发

起的交易次数也成为影响网络中资源共享合作程度的重要因素。图 5 给出了 $B = 1.06$, $TS_{adj} = 1$ 时网络中合作和背叛节点的平均发起交易次数随时间的演化过程。

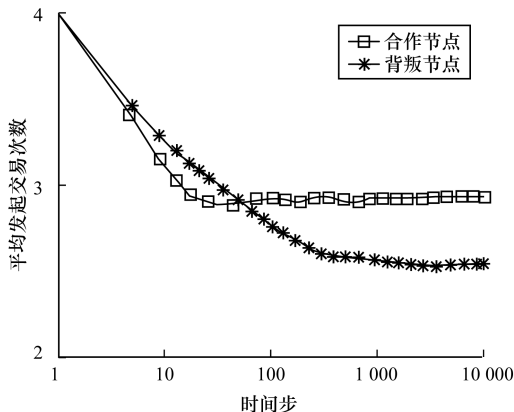


图 5 节点平均发起交易次数随时间的演化过程

从结果中可以得到 2 个结论：1) 随着网络中节点策略的演化，合作和背叛节点的平均发起交易次数最后都演化到一个稳定的程度；2) 在最后的演化稳态，合作节点的平均发起交易次数高于背叛节点的平均发起次数，即合作节点发起资源共享交易的意愿比背叛节点要高。合作节点的高意愿能够使网络中较多的节点获得所需的资源，而背叛节点的低意愿则减少了其利用合作节点的次数。

4.5 节点策略演化均衡态稳定性分析

在实际网络中，节点的策略选择会受到很多因素的干扰，不是完全理性的。一方面，存在节点在某些时刻可能会随机选择自己策略的行为，而不是理性的学习收益较高的策略；另一方面，节点在获得策略学习所需的收益等数据时，可能会受到数据传输干扰等问题的影响，某些情况下获得的数据会有错误。以上这两方面因素都会影响节点的策略选择行为。因此，当存在节点策略选择扰动时，节点策略分布在演化均衡态是否稳定也成为判断节点合作促进机制有效性的一个重要条件。

图 6 给出了存在节点策略选择扰动时，网络中合作节点比例随时间的演化过程 ($B = 1.06$, $TS_{adj} = 1$; $B = 1.2$, $TS_{adj} = 2$; $B = 1.22$, $TS_{adj} = 2$)。在网络中节点策略的演化过程中，针对 3 种情况，分别在 3 000、4 000 和 5 000 个时间步设定有 20% 的合作节点的策略变为背叛策略（策略发生变化的合作节点从网络中随机的选择）。从图 6 中所示结果可以发现，在 3 000、4 000、5 000 时间步，3 种情况下合作节点在网络中的比例都出现下降，但在随后的节点策略演

化过程中，合作节点比例能够逐渐上升，直至上升到部分合作节点策略发生突变前的比例值。因此，在存在合作节点策略扰动的前提下，合作节点在网络演化稳态的比例能够最终保持不变，即合作节点比例在网络演化均衡态是稳定的。

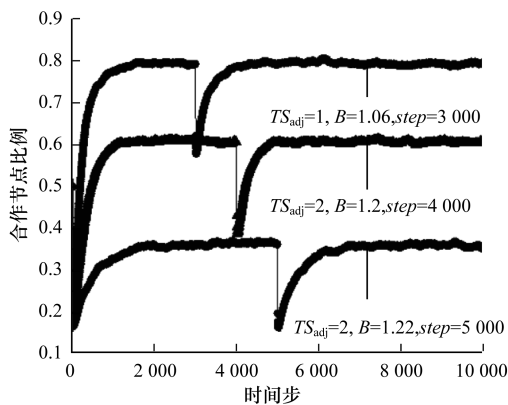


图 6 合作节点比例随时间的演化过程（节点策略扰动）

4.6 合作促进机制有效性分析

为了更好地对合作促进机制进行分析，前面的研究是在一种理想的情况下进行的（使用规则网络结构）。在实际的社交网络中，节点可交易的邻居数量的分布通常是不均匀的。为了进一步验证合作促进机制在不同情况下的有效性，接下来使用 ER 随机网络作为节点的交易网络结构对网络中节点策略的演化过程进行分析（为了与规则网络的结果进行比较，所用网络的节点平均度为 4）。

图 7 给出了针对 3 种节点交易发起次数调整值 ($TS_{adj} = 0$, $TS_{adj} = 1$, $TS_{adj} = 2$)，网络中合作节点在演化稳态的比例随参数 B 的变化情况。由图 7 所示结果可以发现，相对于节点不进行发起交易次数调整的情况 ($TS_{adj} = 0$)，当节点依据其策略学习行为对其发起的资源共享交易次数进行调整时，网络中节点的资源共享合作行为能够得到有效促进。

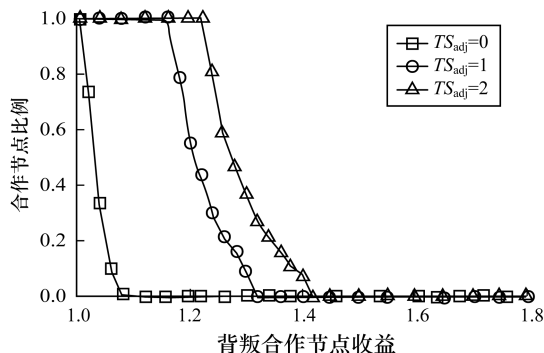


图 7 演化稳态合作节点比例随 B 的变化情况（随机网络）

5 结束语

本文考虑社交网络中节点策略学习行为对其发起交易次数的影响,提出一种节点合作激励机制。研究和分析网络中合作节点比例随时间的演化过程,以及演化稳态合作节点在网络中所占比例。实验结果表明,激励机制能够在多种情况下对节点间的合作行为进行有效促进。下一步将对节点其他属性对社交网络中合作行为的影响进行研究。

参考文献

- [1] 闻英友,赵博,赵宏.基于博弈理论的移动自组网激励机制研究[J].通信学报,2014,35(4):44-52.
- [2] 曹怀虎,朱建明,郭树行.基于博弈论的移动社交网络数据转发激励算法[J].小型微型计算机系统,2014,35(7):1482-1485.
- [3] CHEN Zhide, QIU Yihui, LIU Jingjing, et al. Incentive Mechanism for Selfish Nodes in Wireless Sensor Networks Based on Evolutionary Game[J]. Computers & Mathematics with Applications, 2011, 62(9): 3378-3388.
- [4] 刘群,易佳.基于演化博弈的社交网络模型演化研究[J].物理学报,2013,62(23):1-9.
- [5] 王慧贤,吕廷杰,陈霞,等.社交网络媒体平台用户“搭便车”行为分析[J].北京邮电大学学报(社会科学版),2013,15(3):1-7.
- [6] CHANG Junsheng, PANG Zhengbin, XU Weixia, et al. An Incentive Compatible Reputation Mechanism for P2P Systems[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2014, 69(3): 1382-1409.
- [7] 谭冕,何世彪,宋波,等.一种基于重复博弈的可容错的ad hoc网络节点合作策略[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2016,28(3):342-348.
- [8] 乐光学,李仁发,陈志,等.P2P网络中搭便车行为分析与抑制机制建模[J].计算机研究与发展,2011,48(3):382-397.
- [9] 曲大鹏,王兴伟,黄敏.移动对等网络中自私节点的检测和激励机制[J].软件学报,2013,24(4):887-899.
- [10] WANG Yufeng, NAKAO A, VASILAKOS A V, et al. P2P Soft Security: on Evolutionary Dynamics of P2P Incentive Mechanism[J]. Computer Communications, 2011, 34(3): 241-249.
- [11] NOWAK M A, MAY R M. Evolutionary Games and Spatial Chaos[J]. Nature, 1992, 359(6398): 826-829.
- [12] SZABÓ G, FATH G. Evolutionary Games on Graphs[J]. Physics Reports, 2007, 446(4): 97-216.
- [13] LI Zhi, GAO Jia, SUH I H, et al. Evolution of Cooperation in Lattice Population with Adaptive Interaction Intensity[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2013, 392(9): 2046-2051.
- [14] WANG Xuwen, NIE Sen, JIANG Luoluo, et al. Cooperation in Spatial Evolutionary Games with Historical Payoffs[J]. Physics Letters A, 2016, 380(36): 2819-2822.
- [15] SZABÓ G, TÖKE C. Evolutionary Prisoner's Dilemma Game on a Square Lattice[J]. Physical Review E, 1998, 58(1): 69-73.

编辑 刘冰

(上接第133页)

- [8] CAO C L, ZHANG R, ZHANG M Y, et al. IBC-based Entity Authentication Protocols for Federated Cloud Systems[J]. KSII Transactions on Internet & Information Systems, 2013, 7(5): 1291-1312.
- [9] MISHRA R. Anonymous Remote User Authentication and Key Agreement for Cloud Computing[C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Soft Computing for Problem Solving. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2014: 899-913.
- [10] DONG Z M, ZHANG L, LI J T. Security Enhanced Anonymous Remote User Authentication and Key Agreement for Cloud Computing[C]//Proceedings of the 17th International Conference on Computational Science and Engineering. [S.l.]: IEEE Computer Society Press, 2014: 1746-1751.
- [11] 王中华,韩臻,刘吉强,等.云环境下基于PTPM和无证书公钥的身份认证方案[J].软件学报,2016,27(6):1523-1537.
- [12] CANERRI R, KRAWCZYK H. Analysis of Key-exchange Protocols and Their User for Building Secure Channels[C]//Proceedings the International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2001: 453-474.
- [13] 杨力,马建峰,姜奇.无线移动网络跨可信域的直接匿名证明方案[J].软件学报,2012,23(5):1260-1271.
- [14] 周彦伟,杨波,吴振强,等.基于身份的跨域直接匿名认证机制[J].中国科学:信息科学,2014,44(9):1102-1120.
- [15] 周彦伟,杨波,张文政.安全高效的异构无线网络可控匿名漫游认证协议[J].软件学报,2016,27(2):451-465.
- [16] LI H W, DAI Y S, TIAN L, et al. Identity-based Authentication for Cloud Computing[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Cloud Computing. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2009: 157-166.
- [17] TIN Y S T, BOYD C, NIETO J G. Provably Secure Key Exchange: An Engineering Approach[C]//Proceedings of Australasian Information Security Workshop. Adelaide, Australian: Australian Computer Society, 2003: 97-104.

编辑 索书志