

对等网中基于强互惠的节点行为演化分析

任燕

(遵义师范学院 计算机与信息科学学院, 贵州 遵义 563002)

摘要:对等网的高度动态性、异构性、关联度低等特性,要求对等网中的节点之间要高度合作.与采用激励机制促进节点之间进行合作的方法不同,本文引入强互惠理论,解决对等网络中存在的节点不合作问题,即对等网络中存在的强互惠节点,为了公平,愿意自己承担成本来惩罚不合作节点.在理论上对系统中节点的行为演化过程进行了分析,仿真实验结果显示系统中不合作节点比例降低,且提高了系统的整体收益.

关键词:对等网;强互惠;不合作;演化

中图分类号:TP393

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2014)03-0083-04

Analyzing on the evolvement of node behavior based on strong reciprocity in Peer-to-Peer Network

REN Yan

(College of Computer and Information Science, Zunyi Normal College, Zunyi 563002, China)

Abstract: Peer-to-Peer (P2P) network is high dynamic, heterogeneous and low correlation degree. The cooperation of nodes is important for the P2P Network. Some researches use incentive mechanism to promote the cooperation of nodes. Different from the currently study, strong reciprocity theory was introduced to solve the non-cooperation problem. Namely, there are some strong reciprocity nodes in the P2P network. Strong reciprocity nodes voluntarily punished the non-cooperation nodes for the fairness, even though they payed the cost themselves. The nodes' behavior evolvement in the system was analyzed in theory. The simulation results show that the non-cooperation ratio is decreased and the whole payoffs is improved in the system.

Key words: Peer-to-Peer Network; strong reciprocity; non-cooperation; evolvement

对等网中的节点通过对等方式进行交互、共享和协作,从而建立一种节点间的成对通信连接.在以分布式为主要特点的对等网络中,节点是否合作是保证网络高效、稳定运行的关键问题之一.

针对对等网中节点的不合作问题,一些研究者提出了激励机制、惩罚机制等.本文主要是引入强互惠(Strong reciprocity)理论来解决对等网中节点的不合作问题,并对节点的行为演化进行分析.

强互惠理论^[1]认为人类在与他人进行合作的时候,为了追求整体的公平性,甚至愿意消耗个人成本去惩罚那些不参与合作的人,即使得不到任何

收益的时候也会这样做.强互惠理论在近年已经得到了迅速发展,逐步成为一种跨经济学而扩展到其他学科领域,如社会学、生物学、人类学等领域的综合学科理论.

本文引入强互惠理论到对等网络中,即对等网络中存在强互惠节点,强互惠节点为了追求整体的公平性,不惜自己消耗成本去惩罚不参与合作的节点.这样通过强互惠节点构建系统自发约束环境,使网络中参与节点在交互中形成合作偏好,随着交互次数的增加完成行为的演化,最终减少系统中不合作节点数量,从而有效提高系统合作性.

1 相关工作

合作行为已在社会学、人类学、经济学等领域受到众多学者关注,特别在现有经济学体系中,研究者已经对人类经济行为的合作性进行了一定的研究.对合作的定义,在人类社会是基于“行为性”,基本上都是把合作认为是一种有意识的或者是刻意的协作行为^[1];还有基于行为的“经济性”进行定义,把合作认为是一种共同的行动,这种共同的行动会给每个主体带来一定的收益^[2].博弈论则把合作博弈定义为:当事个体在达成有效的约束规则时,双方进行的交互活动^[3].本文主要研究计算机网络中节点的合作行为,主要把节点的资源共享行为、信息转发行为和查询响应行为等都看作是合作行为,而不共享资源、不转发信息和响应查询请求视为不合作行为.

近年来,已经有许多针对分布式系统如P2P系统、复杂网络中的不合作行为的研究,提出了一系列激励机制^[4-6]和博弈论方法^[7-8]来保障节点的合作行为.当前的各种机制都是为了针对某些具体的应用或者理论问题提出,并给出了较优的解决方案,具有一定的可行性和优点,但也存在一定的不足,已有大量论文系统地比较和分析各种机制的特点,如有很多研究指出了激励机制存在的一些问题,如:一些激励机制用的是集中式控制,这会导致通信超载问题^[9];而对等的分布性特点,使得永久性身份标识不能得到保证^[10];还有无法杜绝服务欺骗问题^[11]等.

而社会学、生物学、经济学等学科领域已经有相关理论和大量的实验证实了强互惠行为的存在.且通过阅读大量文献和分析发现,对等网中的节点同人类社会个人相对比,存在一定的映射关系:1)在人类社会中,每个个体的资源和能力都是有限的,而在对等网络,每个节点的资源如存储空间、网络带宽等都是有限的;2)在人类社会中,每个个体都是有自身利益的,对等网中的节点同样有自身利益;3)同人类社会一样,对等网中节点的行为会影响其他节点的行为和收益;4)人类社会中个体的行为是自由的,对等网中节点的行为也是自由的,节点可以选择和调整行为;5)人类社会中,个体之间的合作,可以提高整体的效益,而对等网中节点之间的高度合作,可以提高网络资源的利用率.因此,本文提出把强互惠理论引入到对等网络中节点合作问题的研究.

2 对等网中节点的强互惠行为

2.1 节点强互惠行为

在对等网中,2个陌生节点之间可以进行合作,在很多情况下,如规模较大时,2个节点之间的

合作也许只发生1次,甚至2个节点进行了合作,但是不会获得任何的收益.在这种网络拓扑结构不稳定、节点移动频繁、高度异构、节点之间关联度低的分布式环境中,为了使节点能够积极合作,本文引入强互惠理论,即网络中存在部分用户(节点),具有惩罚不合作节点的行为,即使得不到预期收益,为了整体的公平性,强互惠节点愿意自己承担惩罚成本.在社会学、经济学等一些研究领域已经通过很多实验,验证了强互惠行为的存在^[12-13].人类社会中,在很多不同的条件下,有一部分人,他们为了追求公平或者社会公共利益,即使需要自己承担惩罚成本,也愿意去惩罚那些不合作的人.这种行为对维持人类社会中的高度合作关系具有重要作用.通过分析可知,在对等网中引入强互惠理论是有依据的.

2.2 节点行为演化

本文基于由规模为 n 的若干自治域组成的对等网络来研究节点的行为演化,设强互惠节点的比例为 f_{sr} ,系统中某个不合作节点的不合作概率为 δ_{non_c} ,其满足如下关系(式1).

$$\delta_{non_c}(f_{sr}) = \begin{cases} 1 - \frac{f_{sr}sn + b}{2cn}, & f_{sr} \leq f_{sr}^{\max} = \frac{2c - b/n}{s}; \\ 0, & f_{sr} > f_{sr}^{\max}. \end{cases} \quad (1)$$

式中, c 表示节点合作时的付出成本, b 表示获得的收益, s 表示不合作节点受到惩罚时,被退出系统所承担的退出成本, f_{sr}^{\max} 表示自治域内强互惠节点的最大比例.

图1展示了自治域内各类型节点的行为演化过程.其中的 $s > 2c$,表示在一个阶段内,不合作节点受到惩罚的退出成本,比其参与合作时的合作成本的2倍要大,以促进节点为了更小的付出成本而选择合作行为.

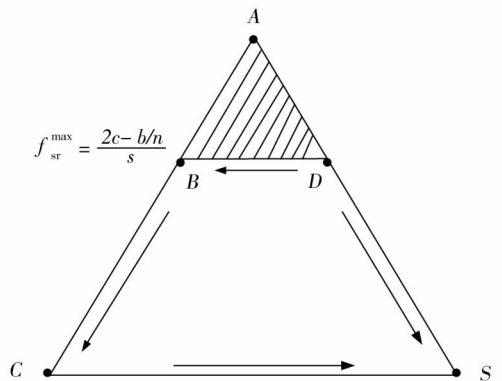


图1 自治域内各节点行为演化示意图

图中每个点表示一种节点的行为,如顶点 S 表示节点都选择不合作行为(自私行为),顶点 A

表示所有节点都选择强互惠行为 ($f_{sr} = 1$), 顶点 C 表示所有所有节点都选择的合作行为. 线段 BD 表示强互惠节点的比例为 $f_{sr}^{max} = (2c - b/n)/s$, 当自治域中强互惠节点大于 f_{sr}^{max} 时, 系统中无不合作节点, 而当强互惠节点小于这个比例时, 就有不合作节点会以一定概率选择不合作行为.

通过上述分析可以看出, 在 ABD 范围内, 当 $f_{sr} > f_{sr}^{max}$ 时, 没有节点选择不合作行为, 自治域平均不合作概率为 0, 所有节点的收益相同, 为 $b - c$. 在段 AC 上, 没有不合作节点, 则强互惠节点同合作节点一样, 只需执行合作行为, 故节点的收益相同, 为 $b - c$. 在段 CS 上, 强互惠节点的比例为 $f_{sr} = 0$, 合作节点要付出合作成本为 c , 而不合作节点的合作成本为 0, 则在这一段上, 不合作节点的收益比合作节点要高. 在段 DS 上, 通过式(2)可知, 不合作节点比强互惠节点更有利, 不合作节点的不合作行为是最优的.

$$\eta_s - \eta_a \geq (1 - f_a)c_p + b/n. \quad (2)$$

式中, η_s 表示不合作节点的收益, η_a 表示强互惠节点的收益, c_p 表示强互惠节点实施惩罚行为付出的成本.

当 $\delta_{non-c} \in (0, 1)$ 时, 不合作节点被惩罚的概率, 随着强互惠节点比例 f_{sr} 的不断增加而提高, 则降低了不合作节点的不合作概率 δ_{non-c} . 在 $DBCS$ 区域中, 当不合作节点比例降低时, 强互惠节点的收益得到了提高, 而不合作节点的收益没有提高, 但在这个区域中, 合作节点收益总是高于强互惠节点的收益. 很明显, 若节点持续选择合作行为, 则合作节点的合作行为会因为排斥强互惠节点的行为而导致自治域内的合作均衡被破坏; 当系统中强互惠节点数量较少时, 其自身将会受到节点不合作行为带来的利益损耗. 图 1 的行为演化展示了这种情况, 在区域 $DBCS$ 中, 节点都更愿意选择不合作行为, 特别是强互惠节点的比例下降时, 不合作节点会大规模增加, 而这种情况的成本则是由合作节点和强互惠节点一起来承担.

3 实验结果分析

根据对等网的环境特点, 仿真实验在 Dell PowerEdge R720 服务器 (规格 E5 - 2620 * 2/32G/300G + 2T) 上, 用 java 编程实现. 实验中把系统中的每个节点都完成一次交互作为一次行为选择, 随着交互次数的增加, 各节点多次进行行为选择, 进而完成行为演化. 在系统初始时, 分别建立自治域规模为 15 的 30, 60, 120 个自治域. 为了验证强互惠行为对不合作节点惩罚的有效性, 设初始时系统中存在 90% 的不合作节点, 10% 的合作节点. 在公

共物品博弈中, 70% 的惩罚行为都是由贡献水平较高的个体来实施^[14], 具有较高贡献水平的个体会是惩罚实施者. 因此在仿真实验中, 强互惠行为最初是由具有较高贡献水平的合作节点来实施的, 合作节点实施强互惠行为后, 演变成强互惠节点. 设置当合作节点收益小于 $b - c$ 时, 其根据自己的贡献水平, 决定接下来是否自己承担成本对不合作节点实施惩罚, 若选择了强互惠行为, 就演变为强互惠节点. 实验中设置不合作节点被惩罚时的退出成本 s 从 $[0, 1]$ 中随机选择.

仿真实验主要是要验证强互惠行为保证合作性的有效性, 验证其是否能起到减少系统中不合作节点数量, 提高系统效率的作用. 因此, 主要分析系统中不合作节点比例和系统的收益.

3.1 不合作节点比例

系统中的不合作节点比例对系统整体合作性的影响很大, 因为不合作节点越多, 必然导致系统合作水平较低. 在实验初始时设置有 90% 的不合作节点和 10% 的合作节点. 图 2 给出了系统中不合作节点所占比例随着交互次数的增加而发生的变化.

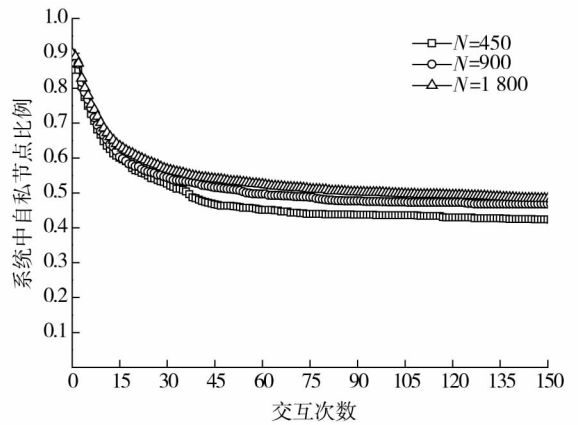


图 2 系统中不合作节点所占比例

从图 2 可以看出, 在开始后大约进行 50 次交互之后, 不合作节点的比例显著下降, 在 50 ~ 140 次之间, 不合作节点比例下降缓慢, 最后系统中不合作节点比例趋于稳定. 我们分别作了系统总规模分别为 $N = 450, N = 900$ 和 $N = 1800$ 时, 系统中不合作节点所占比例. 从图中显示, 不合作节点所占比例基本没有受系统规模的影响, 在系统规模增大的情况下, 不合作节点所占比例在相同交互次数下稍有增加, 但在趋于稳定后, 都在 50% 以下, 可以说总体上不合作节点的比例受系统规模的影响不大.

3.2 系统收益

促进对等网中节点间合作的目的, 是为了最大化利用网络资源, 使系统的整体收益得到提高. 通

过实验数据分析,如下图显示,在初始时,系统收益较低,这正是由于不合作节点较多的原因.随着交互次数的增加,系统的收益得到显著提高,当达到一定交互次数后,系统中各类型节点比例趋于稳定,系统收益也趋于稳定.如图在系统规模 $N = 450$ 时,大约 150 次交互后,系统收益趋于稳定,在 $N = 1\ 800$ 时,大约 200 次交互后,系统收益趋于稳定.

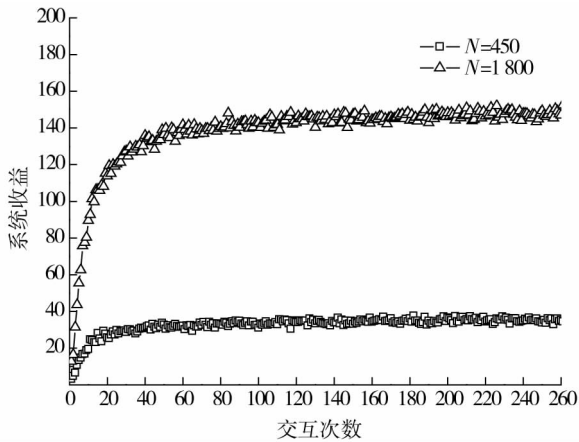


图3 系统收益的变化

从上述实验设置和实验结果分析可知,强互惠节点初始是由有较高贡献水平的合作节点演变而来的.在初始阶段,不合作节点的比例很大,有很多具有较高贡献水平的合作节点选择强互惠行为,从而演变成强互惠节点,而不合作节点在受到强互惠节点的惩罚后,重新加入时、或者当收益小于退出成本时,选择 100% 的合作概率,其就演变成合作节点,则不合作节点比例逐渐降低.随着交互次数的增加,当不合作节点的不合作概率降低到强互惠节点可以接受的阈值,将不会再受到惩罚,则系统中不合作节点的比例也将基本趋于稳定.强互惠行为使系统中不合作节点的比例逐渐降低,则自然整个系统的收益会相应得到提高.

4 结论

节点愿意贡献和合作是对等网络存在和成功的关键.本文引入强互惠理论,即以节点不是总是追求自身利益,而是为了整个系统的公平性,愿意自己承担成本为前提,设对等网中存在强互惠节点,在理论上对系统中各节点行为的演化过程进行了分析.通实验结果,可知对等网中强互惠行为的存在,使得不合作节点受到其惩罚,从而选择较低的不合作概率或者选择合作行为,系统中不合作节点大大减少,从而增加了系统的收益.

参考文献:

- [1] 韦倩. 人类合作行为与合作经济学理论分析框架[D]. 济南:山东大学,2009.
- [2] Kevin C C, David W S. Testing models of non - kin cooperation: mutualism and the Prisoner's Dilemma[J]. *Animal Behaviour*,1995,50(2): 527 - 535.
- [3] Zhang G P, Yang K, Hu Q S, et al. Bargaining game theoretic framework for stimulating cooperation in wireless cooperative multicast networks[J]. *IEEE Communications Letters*,2012, 16(2): 208 - 211.
- [4] Aperjis C, Johari R. A peer - to - peer system as an exchange economy [C] // *Proceedings of the Game Theory for Communication and Networks (GameNets'06)*. New York: ACM,2006.
- [5] Nishida H, Thinh N. A global contribution approach to maintain fairness in P2P networks[J]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2010, 21(6): 812 - 826.
- [6] Li Z, Shen H Y, Sapra K. Leveraging social networks to combat collusion in reputation systems for Peer - to - Peer networks[C] // *Proceedings of the IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'11)*. Los Alamitos,CA:IEEE Computer Society, 2011.
- [7] 王浩云,张顺颐,孙雁飞,等. P2P 网络路由由节点组合策略博弈模型[J]. *应用科学学报*,2009,27(1):12 - 18.
- [8] Santos F C, Pacheco J M. A new route to the evolution of cooperation[J]. *Journal of Evolutionary Biology*, 2006, 19(3): 726 - 733.
- [9] Aperjis C, Johari R. A peer - to - peer system as an exchange economy[C]// *Workshop on Game Theory for communications and networks*. New York:ACM, 2006.
- [10] Bicocchi N, Zambonelli F. Autonomic communication learns from nature[J]. *IEEE Potentials*, 2007, 26(6): 42 - 46.
- [11] Qiu D, Srikant R. Modeling and performance analysis of bittorrent - like peer - to - peer networks [C]// *Proceedings of Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM'04)*. Portland:ACM, 2004.
- [12] 科林·凯莫勒. 行为博弈——对策略互动的实验研究 [M]. 贺京同,等,译. 北京:中国人民大学出版社,2006.
- [13] Angel S, Jose A G. Altruism may arise from individual selection[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2005,235 (22): 233 - 240.
- [14] Fehr E, Gächter S. Altruistic punishment in humans [J]. *Nature*,2002(415):137 - 140.