

基于纳什议价的 P2P 社会网络资源共享*

张清丰, 王 晟, 廖 丹

(电子科技大学 通信学院 宽带光纤传输与通信网教育部重点实验室, 成都 611731)

摘 要: 针对 peer-to-peer (P2P) 社会网络中存在的自由下载问题, 提出了一种基于纳什议价的节点资源共享博弈。将节点共享资源分为两类公共品资源和俱乐部资源; 将社会网络中的节点关系集合分为: 朋友集合 (FS) 和普通集合 (SS)。节点在 FS 集合中共享的资源作为公共品资源, 在 SS 集合中作为俱乐部资源。采用纳什议价的方法证明存在节点共享能力、保证不同集合中节点共享资源的最小服务质量以及最大化节点共享资源效用函数的条件下, 共享资源节点根据纳什议价权力对不同集合进行资源共享, 达到最优的资源共享。分析了基于纳什议价节点共享资源的公平性。通过仿真验证表明, 节点共享资源的收益和资源共享量与不同集合议价权力都正相关, 保证最小服务质量的资源共享其公平性因子高于不存在服务质量保证的资源共享公平性因子。仿真结果验证了理论分析结果。

关键词: 对等网络; 博弈论; 资源共享; 纳什议价; 社会网络

中图分类号: TN915.41; TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2016)07-2096-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2016.07.039

Nash bargaining based resource sharing in P2P social networks

Zhang Qingfeng, Wang Sheng, Liao Dan

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission & Communication Network, Dept. of Communication & Information Engineering, UESTC, Chengdu 611731, China)

Abstract: To effectively overcome the free-rider problems which existed in the peer-to-peer (P2P) social networks, this paper presented resource sharing based on the Nash bargaining. Firstly, the peers' sharing resources were divided into the public goods (PGs) and the club goods (CGs). The relationship between the P2P social network peers in the sets was divided into friends set (FS) and stranger set (SS). Peers sharing resources in the set of FS regarded as the PGs, in the set of SS regarded as the CGs. Secondly, This paper used the method of the Nash bargaining to prove peers achieved the optimal resource sharing within peers sharing capability, guarantee the minimum quality of service (QoS) peers and the maximum of utility function, peers according to the Nash bargaining power to sharing their resources in different sets. Again, analysis of the fairness of peers' resources sharing based on the Nash bargaining power. Finally, simulation show that the utility function and the number of the resource sharing of resource sharing peer is positively related to the Nash bargaining power, the fairness of resource sharing within the guarantee minimum QoS is higher than there is no guarantees of the QoS resource sharing. The theoretical analysis is validated by the simulation results.

Key words: P2P; game theory; resource sharing; Nash bargaining; social networks

0 引言

基于 P2P 的社会网络, 在资源共享、分布式计算和协作通信等领域中起到了极其重要的作用, 由于网络中节点的匿名性和高动态性, 网络中存在大量的自由下载节点, 严重影响了网络的性能, 使得无私节点即使共享资源也获得很少的经济收益。文献[1]研究发现, 网络中自私节点的数量达到了 70%, 而共享资源的节点不到 1%, 却共享了 37% 的网络资源, 激励节点为网络共享更多的资源成为一个研究热点。文献[2]研究表明, 随着网络中的节点的加入, 整个网络中的自私节点也在不断地增加, 到目前为止, 自私节点的比例超过了 85% 以上, 网络中的节点都想获得更多的资源, 造成了网络中的资源更加紧张, 使得很多节点获得的资源逐渐减少。因此, 为了网

络中的节点获得相应的服务质量保证, 同时有效抑制自由下载节点, 吸引更多的节点加入网络中, 很多文献提出了不同的激励机制激励节点共享资源, 达到维护网络的规模和系统性能的稳定。文献[3]分析了 P2P 网络中的自由下载者均衡问题; 文献[4]分析了网络中存在的自由下载者问题和洗白节点重新加入网络的问题, 洗白问题指网络中存在恶劣行为的节点为了逃避系统的惩罚, 再次获得更多的资源, 这些存在恶劣历史行为的节点便以新的身份加入网络, 重新向资源提供节点发出资源请求获得资源。

在各类激励机制中, 促进节点间的合作成为激励的主要目标。不同的文献提出了不同的方案, 文献[5]提出了一种根据节点的贡献值和讨价还价方式协议前提下, 同时存在节点协作的有效和激励相容的 P2P 内容分发网中的资源分配机制; 文献[6]提出基于最大努力的有效公平激励机制, 有效地激励节

收稿日期: 2015-03-28; **修回日期:** 2015-05-21 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (61001084)

作者简介: 张清丰 (1982-), 男, 四川成都人, 博士研究生, 主要研究方向为 P2P 网络激励机制与资源分配研究 (qingfengzhang2010@126.com); 王晟 (1971-), 男, 四川成都人, 教授, 博导, 主要研究方向为通信网络优化技术、信息安全技术等; 廖丹 (1980-), 男, 四川成都人, 副教授, 硕导, 主要研究方向为下一代互联网关键技术研究、网络优化设计等。

点最大化的共享资源;文献[7~9]提出基于博弈论的激励机制,并提出不用效用函数,节点最大化自身的效用函数或者收益的条件下,对自身的资源进行公平、有效的分配,从而达到有效抑制自由下载者问题;文献[10]提出社会网络中按照不同的集合节点贡献值进行资源分配的激励机制,该机制有利于提升整个网络的资源量,维护具有良好历史行为的节点获得更多资源;文献[11]提出一种基于纳什议价的资源分配机制。文献[12]利用斯塔克尔贝格博弈的方法,采用节点的信誉值进行激励节点参与合作,达到抑制自由下载者问题。文献[13]提出一种基于博弈论的公共品资源的分配机制,达到激励节点更多的共享公共品资源来维持网络的服务质量。文献[14]提出一种基于博弈论的随机学习方案解决分布式信道选择的资源分配;文献[15]提出基于博弈论的方法分析网络中基站之间的合作达到最佳的功率分配和用户调度。

本文研究节点在保证不同集合中节点的最小服务质量、自身最大共享能力以及最大化效用函数的前提下,采用凸规划的方法求解得到节点共享的资源取决于节点的纳什议价权力,共享节点将资源共享给不同的集合,达到最优公平的资源共享。这样保证了不同集合中节点获得资源的公平性,有利于吸引更多的节点加入网络中,共享相应的资源,保证整个网络的服务质量和稳定性,同时抑制自由下载者问题和洗白问题。

1 系统模型

设网络中的节点数目为 n ,构成节点集合: $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$;在社会网络中,节点分为共享资源节点和消费资源节点,即节点在获得资源的同时支付相应的代价。同一个节点既可以是共享资源的节点,同时也可以消费资源的节点。资源共享节点存在最大连接能力以及共享能力的限制,而消费资源的节点关系存在差异性。根据节点间的兴趣一致性原则,将共享资源节点关系集合分为朋友集合(FS)和普通集合(SS)。存在节点的有效链接能力(节点能提供稳定、可靠的服务质量保证的节点数目)约束条件下, FS 集合中的节点为其具有良好历史行为的节点,即兴趣一致性比较高的节点,而 SS 集合中的节点为兴趣一致性较低或者是刚加入网络中的节点,因此,节点 FS 集合中的节点高于兴趣一致性其门限值,而 SS 集合中的节点低于其兴趣一致性门限值。由于节点的有效链接能力限制,不同节点的兴趣一致性门限值也不一样,该门限值取决于节点的服务能力,因此不同节点的不同集合中节点的数目也是不一样的,并且都是有限的节点数目。因此,根据节点关系的兴趣一致性分类,可以假设整个社会网络中不同节点的不同集合中的节点都是理性的节点,没有恶意的节点和欺骗行为的节点,即不同集合中节点在获得资源的同时理性支付相应的代价。根据文献[16]的介绍,本文按照社会经济学中资源分类模型,将网络中共享节点的资源分为公共品资源(public goods, PGs)和俱乐部资源(club goods, CGs)两类。其节点资源共享如图1所示。

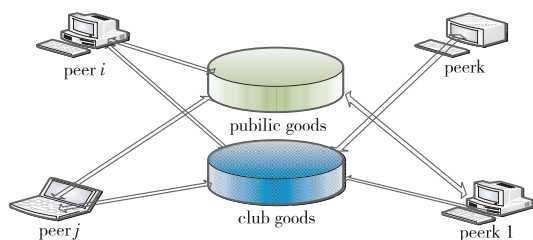


图1 节点资源共享

无私节点共享的资源具有下面的特性:公共品资源具有无排他性和无私性,任何节点都可以公平地获得公共品资源,由于节点在资源共享过程中,消耗了自身的一些资源,存在相应的共享成本。因此,消费节点获得公共品资源时,需要支付和共享节点共享成本相同的代价以回报共享节点的成本,这样就使得这些共享资源节点的积极性得到提高,吸引更多的无私节点加入网络共享资源,促使整个网络的服务质量能够得到保证和提高。节点共享的俱乐部资源具有排他性和竞争性,共享俱乐部资源会使得共享资源的节点获得高于同等条件下共享的公共品资源更多的经济收益,消费资源的节点支付高于其共享成本的代价。无论是消费共享的公共品资源还是消费共享的俱乐部资源,节点都必须支付相应的代价,因此,这种方式可以有效地抑制自由下载节点问题以及洗白问题,自由下载节点和节点退出系统重新加入网络中的洗白节点,两者都不能无偿地获得资源。共享资源的节点按照集合之间的关系,为了维持节点间的兴趣一致性关系,保持资源共享的有效性,将资源共享给 FS 集合中的资源作为公共品资源,将资源共享给 SS 集合中的资源作为俱乐部资源;在 FS 集合中的节点按照获得的资源支付共享资源相应的共享成本,而 SS 集合中的节点必须支付高于共享节点共享成本的代价,使得共享资源的节点获得相应的经济收益,有利于激励节点共享更多的俱乐部资源。

影响节点对不同集合共享不同类型的资源主要有下面两种因素决定。如果节点在获得相同资源的前提下,减少支付的代价,根据前面的分析,节点能获得更多的公共品资源,则其支付的代价就会减少,按照兴趣一致性分类构成的集合中节点的数量越多,其获得的公共品资源也就越多。因此,共享公共品资源节点的数目越多,可以提高其获得公共品资源的服务质量,节点共享的公共品资源也就越多。如果节点刚加入网络中,按照兴趣一致性分类构成的 SS 集合中节点的数目较多,节点对其共享资源为俱乐部资源,这类节点获得相同的资源时,必须支付高于公共品资源的代价。由于共享俱乐部资源可以获得更多的经济收益,这类节点在满足 FS 集合中最小服务质量资源共享量的前提下,将更多的剩余资源共享给 SS 集合作为俱乐部资源,以便获得更多的经济收益。

为了保证节点 i 对不同集合中节点的最小服务质量、维护节点间的兴趣一致性,节点数目的稳定性,避免集合间的节点因为不能获得资源而频繁退出和加入,引起网络中节点获得资源的不稳定性,以致最终到影响网络的稳定性和规模。因此,节点针对不同关系的集合,存在最小的资源共享量,即保证各个集合中节点能获得相应的共享资源,由于集合中的节点按照兴趣一致性进行分类,不同集合中的节点地位是相同的。即对于资源共享节点而言,同一集合中的节点都将公平地享有获得资源的权利。无论是具有历史行为的节点还是刚加入网络的节点,其节点关系按照兴趣一致性分类,必然存在共享的资源分为公共品资源和俱乐部资源。

本文主要研究共享资源的节点在获得总的共享效用函数最大化、存在自身的共享能力约束、同时保证其不同集合中节点获得最小服务质量的前提下,如何有效、公平地共享自身资源给不同的集合,满足不同集合中节点公平的获得资源的要求。首先共享资源的节点按照纳什议价的权力大小共享资源给不同的集合,不同集合中的节点将公平地获得共享资源。其次由于节点间的集合关系按照兴趣一致性进行划分,在同一集合中的节点具有相同的平等地位,为了公平地满足集合内部节

点对共享资源的需求,节点共享给不同集合的资源将按照平均分配的原则将共享资源分配给每个集合内竞争资源的节点。

2 资源共享

设节点共享资源的能力为 S_i ,在 FS 中共享的公共品资源为 S_p^i ,在 SS 中共享的俱乐部资源为 S_c^i 。因此,节点 i 共享资源的策略集为 $S_i = \{S_p^i, S_c^i\}$,其中 $0 \leq S_p^i \leq S_i, 0 \leq S_c^i \leq S_i, 0 \leq S_p^i + S_c^i \leq S_i$ 。则整个网络中节点共享资源集合为: $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}$ 。

设资源共享节点 i 的 FS 和 SS 集合中的节点数目分别为 n_f^i 和 n_s^i ,不同节点的不同集合中的节点数目不一样,该数目取决于节点的有效链接能力即服务能力。而平均资源消费量由共享资源节点根据自身的共享能力决定其大小分别为 x_f^i 和 y_s^i ,为了保证不同集合中节点的服务质量、维护节点获得资源的稳定性及整个社会网络规模,节点对不同集合的最小资源共享量取决于集合中节点的数目和平均资源消费量。保证不同集合中节点的最小服务质量,有利于维护不同集合中节点的数目稳定性、整个网络的服务质量及稳定性,有利于吸引更多的节点加入网络中,共享自身的资源,提升整个网络的服务质量。

如果按照不同集合中节点兴趣一致性原则平均分配资源,由于 FS 集合中的节点的兴趣一致性高于其 SS 集中的节点兴趣一致性,因此,平均资源消费量应满足 FS 集合中节点的平均消费量大于 SS 集合中节点的平均消费量,即 $x_f^i > y_s^i$ 。如果按照集合中节点的最佳公平性原则分配资源,即所有的节点都能平等地获得资源共享节点共享的资源,节点共享的公共品资源和俱乐部资源平均满足所有的资源竞争节点的需求,达到共享资源的最大化利用,则每个集合中节点的平均资源消费量应满足 FS 集合中节点的平均消费量等于 SS 集合中节点的平均资源消费量,即 $x_f^i = y_s^i$ 。则节点保证不同集合中节点的最小服务质量前提下,节点对不同集合资源最小共享量分别为: FS 集合中最小资源共享量为 $S_p^{i \min} = n_f^i x_f^i$;集合 SS 中最小资源共享量为 $S_c^{i \min} = n_s^i y_s^i$ 。

根据前面的分析,为了有效地激励不同集合中的节点在获得资源的同时支付相应的代价或者共享相应的资源。由于不同集合中的节点关系按照兴趣一致性进行分类,为了保证不同集合中的节点公平地获得共享的资源。本文针对不同集合内部的节点采用平均分配资源的方式,达到公平的资源分配,同时促进不同集合中节点的相互合作。因此,节点共享资源的数量与不同集合中节点的数目相关,而不同集合中节点的数目与节点的有效链接能力(提供有效服务质量的能力)相关。节点对不同集合共享的资源与不同集合的议价权力大小相关,由于节点的关系按照兴趣一致性分类,具有良好历史行为能力的节点,其拥有的兴趣一致性高的节点比较多,其获得相同的资源时,主要为公共品资源,因而支付较少的成本代价。而刚加入系统的节点为了获得相同的资源支付较少的代价时,必须共享更多的公共品资源来增加其兴趣一致性较高的节点数目。节点共享的资源与不同集合的议价权力相关,而议价权力的大小与集合中节点的数目成正比例关系。节点 i 的 FS 集合和 SS 集合的议价权力分别为 p_i 和 c_i ,根据上边的分析,可以得到

$$p_i = \frac{n_f^i}{n_f^i + n_s^i}, c_i = \frac{n_s^i}{n_f^i + n_s^i}$$

设节点 i 共享公共品资源的效用函数为: $U_p^i = (S_p^i -$

$S_p^{i \min})^{p_i}$,共享俱乐部资源的效用函数为 $U_c^i = (S_c^i - S_c^{i \min})^{c_i}$ 。

设节点总效用函数为

$$U_i = U_p^i U_c^i = (S_p^i - S_p^{i \min})^{p_i} (S_c^i - S_c^{i \min})^{c_i}$$

因此,将节点 i 的总共享资源效用函数转变成求下面函数的最大值问题:

$$\max: U_i = U_p^i U_c^i = (S_p^i - S_p^{i \min})^{p_i} (S_c^i - S_c^{i \min})^{c_i} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } S_p^i + S_c^i \leq S_i \quad (2)$$

$$S_p^{i \min} \leq S_p^i \quad (3)$$

$$S_c^{i \min} \leq S_c^i \quad (4)$$

式(2)表明节点共享的各种资源总量受到节点总共享能力的限制,式(3)(4)表明节点共享的公共品资源和俱乐部资源必须满足节点对不同集合的最小服务质量保证。

将上面问题的求解等价转化为求解下面效用函数的最大值:

$$\max: U'_i = \ln U_p^i U_c^i = p_i \ln(S_p^i - S_p^{i \min}) + c_i \ln(S_c^i - S_c^{i \min})$$

$$\text{s. t. } S_p^i + S_c^i \leq S_i$$

$$S_p^{i \min} \leq S_p^i$$

$$S_c^{i \min} \leq S_c^i$$

下面构造上式对应的拉格朗日函数表达式:

$$L(S_p^i, S_c^i, \alpha, \beta, \gamma) = p_i \ln(S_p^i - S_p^{i \min}) + c_i \ln(S_c^i - S_c^{i \min}) + \alpha(S_i - S_p^i - S_c^i) + \beta(S_p^i - S_p^{i \min}) + \gamma(S_c^i - S_c^{i \min}) \quad (5)$$

其中: α, β, γ 为拉格朗日乘子。

对式(5) S_p^i 求偏导数得到

$$\frac{\partial L(S_p^i, S_c^i, \alpha, \beta, \gamma)}{\partial S_p^i} = \frac{p_i}{S_p^i - S_p^{i \min}} - \alpha + \beta = 0 \quad (6)$$

对式(6) S_c^i 求偏导数得到

$$\frac{\partial L(S_p^i, S_c^i, \alpha, \beta, \gamma)}{\partial S_c^i} = \frac{c_i}{S_c^i - S_c^{i \min}} - \alpha + \gamma = 0 \quad (7)$$

$$\alpha(S_i - S_p^i - S_c^i) = 0 \quad (8)$$

$$\beta(S_p^i - S_p^{i \min}) = 0 \quad (9)$$

$$\gamma(S_c^i - S_c^{i \min}) = 0 \quad (10)$$

联立(6)~(10)求解得到该问题的最优解为

$$S_p^{i*} = S_p^{i \min} + \frac{p_i}{p_i + c_i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min}) \quad (11)$$

$$S_c^{i*} = S_c^{i \min} + \frac{c_i}{p_i + c_i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min}) \quad (12)$$

式(11)为节点最优的公共品资源共享,式(12)为节点的最优俱乐部资源共享。从式(11)(12)可得到:节点获得最大化效用函数时,节点最优资源共享量和节点的共享能力、不同集合的最小服务质量以及节点的纳什议价权力因子有关。由于节点共享的资源与节点的总共享能力以及最小服务质量保证下的资源最小共享量由节点针对不同集合的平均资源消费量和该集合中节点数目本身来决定,因此,节点的最优资源共享量取决于节点的不同集合中的纳什议价权力的大小。

3 公平性分析

设节点 i 对不同集合共享资源量的公平性因子为: $F^i =$

$\frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2}$ 。其中 x_i 表示共享资源的节点对不同集合资源的共享量。

因为: $p_i + c_i = \frac{n_f^i}{n_f^i + n_s^i} + \frac{n_s^i}{n_f^i + n_s^i} = 1$

则式(11)(12)变型为

$$S_p^{i*} = S_p^{i \min} + p_i (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min})$$

$$S_c^{i*} = S_c^{i \min} + c_i (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min})$$

由于议价权力因子与节点不同集合中的节点数目正比例关系,将 $p_i = \frac{n_f^i}{n_f^i + n_s^i}$; $c_i = \frac{n_s^i}{n_f^i + n_s^i}$ 分别代入式(11)(12)得到

$$S_p^{i*} = S_p^{i \min} + \frac{n_f^i}{n_f^i + n_s^i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min})$$

$$S_c^{i*} = S_c^{i \min} + \frac{n_s^i}{n_f^i + n_s^i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min})$$

将上面的式子代入公平性因子,得到

$$F^i = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2} = \frac{(S_p^{i*} + S_c^{i*})^2}{2((S_p^{i*})^2 + (S_c^{i*})^2)} =$$

$$\frac{(S_p^{i \min} + \frac{n_f^i}{n_f^i + n_s^i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min}) + S_c^{i \min} + \frac{n_s^i}{n_f^i + n_s^i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min}))^2}{2((S_p^{i \min} + \frac{n_f^i}{n_f^i + n_s^i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min}))^2 + (S_c^{i \min} + \frac{n_s^i}{n_f^i + n_s^i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min}))^2)} =$$

$$\frac{(S_i)^2}{2((S_p^{i \min} + \frac{n_f^i}{n_f^i + n_s^i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min}))^2 + (S_c^{i \min} + \frac{n_s^i}{n_f^i + n_s^i} (S_i - S_p^{i \min} - S_c^{i \min}))^2)} \quad (13)$$

式(13)可以得出:节点共享资源的公平性因子与节点的总共享能力、不同集合中的节点数目以及服务质量保证下的最小资源共享量有关,并且成非线性关系。

由于节点的共享能力和不同集合中节点最小服务质量保证下的资源共享量由节点根据其集合的平均消费量以及节点有效链接数目本身决定。节点间的集合关系按照其兴趣一致性进行分类,根据前面的分析,对于本身就是历史行为良好的节点,为了获得更多的资源,同时减少其支付的代价,满足不同集合中节点对资源的需求,维护其良好的历史行为或者 FS 集合中节点的利益,其对 FS 集合中的平均资源消费量分配大于 SS 集合中节点的平均资源消费量;而对于刚加入系统中的节点而言,这些节点为了获得更大的效用函数或者是收益,会共享更多的俱乐部资源,因此,其保证不同集合中节点最小服务质量的前提下,对 FS 集合中的资源平均消费量分配可能会小于其 SS 集合中的资源平均消费量。因此,节点对不同集合共享的资源公平性因子同样取决于不同集合中节点的议价权力大小。

4 实验仿真

本文采用 MATLAB 进行仿真验证前面理论分析中的基于纳什议价方法的最优资源共享量以及节点共享资源的公平性因子。主要分析了不同议价权力下的节点共享的公共品资源以及俱乐部资源。分析比较了没有最小服务质量保证的资源共享和本文提出的存在服务质量保证的资源共享。分析仿真表明存在最小服务质量保证的资源共享机制,更有利于吸引节点加入网络共享资源,同时能有效地抑制自由下载节点。最大化地利用资源共享节点共享的资源。

由于系统中节点关系集合按照兴趣一致性进行分类,节点 i 的 FS 集合中的节点的兴趣一致性高于其 SS 集合中节点的兴趣一致性,节点共享的资源(公共品资源)优先满足其 FS 集合中节点的需求,而节点共享的资源(俱乐部资源)满足 SS 集合中节点的需求。不同的节点根据其具体的资源需求情况按照不同集合的议价权力大小,保证不同集合中节点的最小服务质量前提下,对不同集合共享不同的资源。不同节点根据自身的服务能力对不同集合中的节点平均资源消费量初始设置也

不同。但是,节点 FS 集合中的平均消费量大于等于其 SS 集合中节点的平均消费量。这样首先保证了节点关系的兴趣一致性原则,有利于维护兴趣一致性较高的节点获得更多的资源而支付相对较少的代价。其次有利于提高整个系统的服务质量、维护性能的稳定性、抑制自由下载者问题和洗白节点问题。由于受到节点的有效链接能力的限制,所有集合中的节点数目之和不能超过节点的最大有效服务能力。基于 P2P 的社会网络中,节点共享的资源包括文件资源、计算资源、存储资源、带宽资源等,节点间相互合作可以有效利用社会网络中其余节点共享的资源来获得自身对资源的需求。因此,本文仿真中以各种资源中比较常见并且稀缺的带宽资源为例进行分析,由于目前的网络中节点能够提供的上传带宽能力受限,而采用基于 P2P 技术的社会网络具有较强的并行处理能力,大大地提高了网络中节点的上传能力,节点的上传能力可以提高到 30 M 甚至更大。

因此,本文仿真中取合理的节点上传带宽能力,设系统中节点 i 为理性的资源共享节点并且具有较强的上传能力,拥有很好的历史行为信息记录的节点,其共享能力 $S_i = 20M$,即节点能在不同的时间段为其不同集合中的节点提供 20M 单位的带宽资源,满足不同集合中节点对资源的需求,节点设置为六种情况中不同集合节点数目以及节点平均资源消费量如表 1 所示。

表 1 节点数目和平均消费量

Case	n_f^i	n_s^i	x_f^i	y_s^i	$S_p^{i \min}$	$S_c^{i \min}$
1	5	10	0.1	0.1	0.5	1
2	10	15	0.15	0.1	1.5	1.5
3	15	20	0.2	0.2	3	4
4	20	20	0.25	0.25	5	5
5	25	30	0.3	0.3	7.5	9
6	25	20	0.3	0.25	7.5	5

从表 1 可以得到,节点在社会网络中其 FS 集合中的节点数目也在逐渐增加;随着节点服务能力以及部分节点的退出等情况的变化,其 SS 集合中节点数目先增加后减少。其不同集合中的节点平均资源消费量的设置也在不断地增加,为了提高节点间的兴趣一致性,达到维护不同集合中节点的数目,公平共享资源给不同的集合,其 FS 集合中节点的平均消费量大于或者等于其 SS 集合中节点的平均资源消费量。

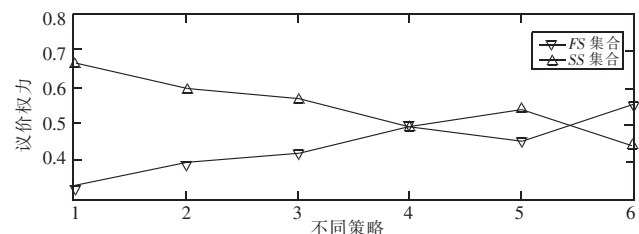


图 2 集合在不同策略下的议价权力

从图 2 可以得到,不同集合的议价权力大小与节点设置的不同集合中有效链接数目的节点成正相关。在资源平均消费量相等的情况下,节点设置的有效链接数目越多,其议价权力越大,反之亦然。

从图 3,4 可以得到,存在节点共享能力限制条件下,不同集合中节点数目和平均消费量对节点共享的公共品资源和俱乐部资源的最优共享量、节点平均消费量以及保证服务质量下的最小资源共享量的影响。节点不同集合中的有效链接数目越多,其获得初始资源分配越多,则议价权力越大,共享的资源越多,反之亦然。

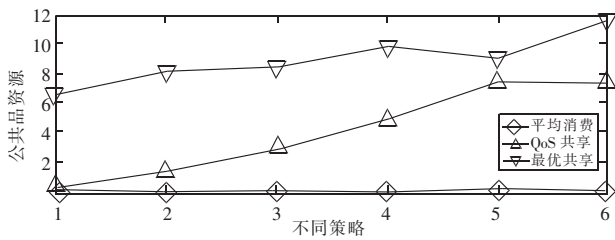


图3 公共品资源共享量

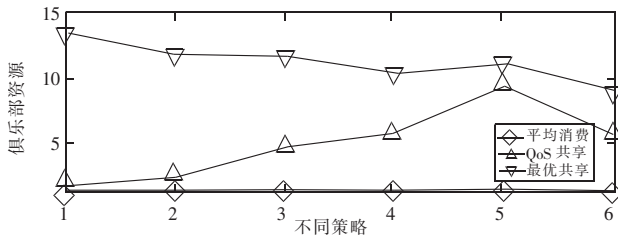


图4 俱乐部资源共享量

从图5可以得到,在保证集合中节点服务质量的同时使得节点获得最大化效用函数,存在节点共享能力限制条件下的最优公共品资源和最优俱乐部资源的共享量与节点不同集合的议价权力成正相关,即集合中节点议价权力越大则共享的资源越多,这样更能有效地保证节点的不同集合服务质量。

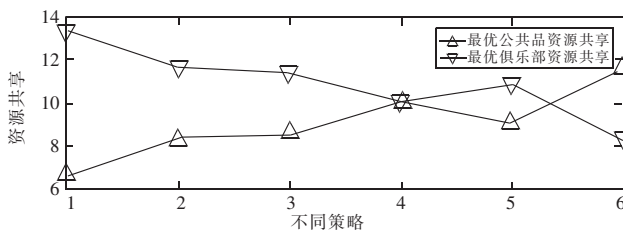


图5 最优公平资源共享量

从图6可以得到,存在节点下载能力约束和保证最小服务质量下,节点在不同策略下共享不同资源的效用函数。节点的FS集合议价权力逐渐增加,共享给FS集合中的公共品资源越多,共享给SS集合中的俱乐部资源越来越少。其中策略五中节点的不同集合效用函数值最小,该策略下的节点保证了不同集合中节点获得最小的服务质量比其余的几种策略节点获得的平均消费量都大,并且节点的有效链接能力最大,因此分配给最小服务质量保证的资源最多,更有利于维护节点间的兴趣一致性,吸引更多的节点加入其不同的集合中并且共享更多的资源。此时,共享资源的节点用于共享的资源最少,因此,这种策略下节点获得的效用函数最小。

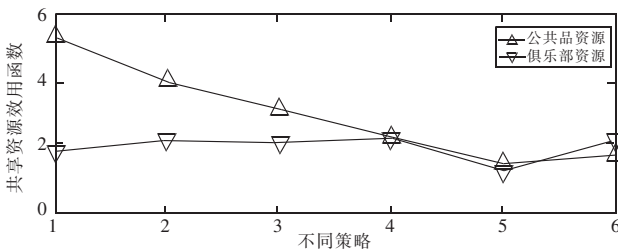


图6 最小服务质量保证的资源共享效用函数

从图7可以得到,无最小服务质量保证下,节点同样按照议价权力的大小对不同集合共享资源。节点在不同策略下共享不同资源的效用函数不一样,当且仅当节点的链接数目相同时,即不同集合中节点的数目相等,则节点共享不同资源可以获得相同的效用函数。

从图8可以得到,节点在不同策略下的效用函数,存在节点共享能力限制条件下,当节点有效链接数目较少同时为不同

集合提供最小的服务质量保证,即分配最小的平均消费量时,节点能共享更多的资源获得最大化效用函数。此时,即使不同集合中存在欺骗行为的节点或者是恶意的节点,由于所有的节点都只能获得较少的资源保证,这些恶意的节点和欺骗行为的节点不会支付相应资源代价,除了获得保证最小服务质量的资源共享量以外,不能获得节点共享的其余公共品资源和俱乐部资源,因此,这些节点对资源共享节点和整个网络的性能影响较小,甚至可以忽略;当节点有效链接数目增加同时集合中节点的平均消费量最大时,节点获得最小的效用函数。节点获得最小效用函数时,最有利于维护节点间的兴趣一致性关系的同时还有利于不同集合中节点间的合作,促进节点共享资源或者支付相应的代价,可以有效提高自身获得更多的资源。

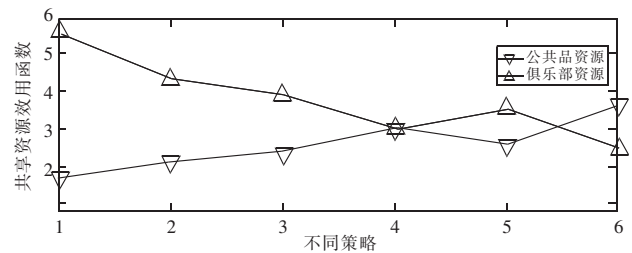


图7 无最小服务质量的资源共享效用函数

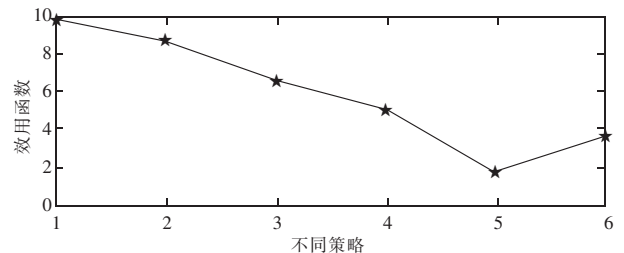


图8 节点共享资源总效用函数

从图2~8中可以得出下面几个结论:

- 节点的不同集合中即使节点数目相同,节点按照自身兴趣一致性和节点关系分配的平均消费量不同,则节点对不同集合共享的资源量不同。
- 节点按照公平性原则不同集合中即使平均消费量相同,节点的数目不同,纳什议价的权力不同,则节点共享的资源量也不同。
- 节点不同集合中节点的数目和平均消费量相同,则集合具有相同的纳什议价权力,因此节点共享给不同集合的资源相同。
- 节点共享的资源量不仅和集合中节点的数目有关,还与该集合中节点的平均消费量有关。但是,由于节点的平均消费量取决于节点自身的兴趣一致性和公平性资源分配,其分配的大小由节点本身决定。

e) 节点的效用函数与节点的资源共享能力,不同集合有效链接能力和保证服务质量的最小资源消费量有关。在共享能力一定的前提下,有效链接能力越强,分配的最小资源消费量越大,节点的效用函数越低;反之亦然。

基于纳什议价权力因子的纳什议价最优资源共享量保证了节点的不同集合对资源共享的公平性,获得相应的最小资源服务质量,下面分析不同策略下对不同集合共享资源的公平性。

从图9可以看出,由于公平性因子取决于节点在不同集合中共享的资源,存在节点的共享能力限制以及最小服务质量保证的节点公平性高于系统没有最小服务质量保证的公平性。存在服务质量保证时,节点不同策略下最优资源共享量的公平

性因子在0.9~1,当节点不同集合中节点数目和平均消费量都存在很大的差异时,其公平性因子较差;如果两者相同时,节点共享的资源量达到最佳的公平性资源共享。第四种策略下的最佳公平性资源共享时,节点不同集合中节点数目和初始的平均资源消费量相等,即所有节点都获得公平的平均资源分配。在没有服务质量保证的前提下,节点的公平性因子均低于不同策略下有最小服务质量保证的公平性因子。因此,本文提出的基于纳什议价的资源共享,存在节点共享能力限制以及保证最小服务质量的条件下,其资源共享的公平性明显高于不存在最小服务质量保证的资源共享的公平性。

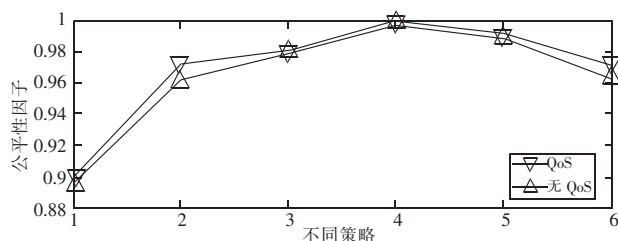


图9 公平性分析

由于本文针对社会网络中节点最优资源共享量采用基于纳什议价权力大小对自身的资源进行共享,最优资源共享量与纳什议价权力指数相关;共享资源节点要保证不同集合中节点获得的最小服务质量的最小资源共享量与节点的平均消费量有关,而节点的平均消费量由共享资源节点本身的共享能力、兴趣一致性及公平性资源共享策略有关。数值仿真结果和理论分析表明:存在节点共享能力限制以及保证节点不同集合的最小资源共享量的前提下,基于P2P的社会网络中节点的最优资源共享量取决于节点的不同集合纳什议价权力。

5 结束语

社会网络中共享资源的节点在自身共享能力约束条件下,首先保证不同集合中的节点获得最小的服务质量,共享资源节点获得相同的资源时,为了减少自身支付的代价,则愿意为FS集合中共享更多的公共品资源;但是,节点为了获得更大的效用函数或者是更多的经济收益,则会选择SS集合中共享更多的俱乐部资源。因此,共享资源节点会按照其兴趣一致性或者公平性原则调整其不同集合中节点数目以及集合中节点的平均资源消费量来达到调整其不同集合中最小化的资源共享量,满足不同集合节点对资源的最基本需求,吸引更多的节点加入网络中,达到维护不同集合的节点数目以及网络性能的稳定性。不同集合的最优资源共享量便取决于不同集合的纳什议价权力大小。

本文研究社会网络中基于纳什议价策略的节点针对不同集合中最优公平的资源共享量,根据节点兴趣的一致性原则,引入节点不同集合中的节点数目有关的纳什议价权力因子,保证最小服务质量和共享资源的节点从自身不同集合的链接能力对不同集合共享不同的资源量,达到最优化的资源共享。对于历史行为比较好的节点其FS集合中的节点数目比较多,而动态加入网络的节点其SS集合中的节点数目比较多,根据理论和仿真分析都可以得到历史节点对公共品资源共享量比较多,而动态加入网络中的节点共享的俱乐部资源比较多。节点按照兴趣一致性或者公平性的原则分配最小服务质量保证下的最小资源共享量,使得两者对资源的共享量都达到了很好的公平性。本文提出的基于纳什议价的资源共享,在保证不同

集合的最小服务质量前提下,最大化自身的效用函数,等价转换为多目标的凸规划问题进行求解,根据纳什议价权力的大小达到节点最优公平性的资源共享量,保证了不同集合中节点获得资源的公平性,促进更多的节点加入网络中,在获得资源的同时支付相应的代价,有利于维护网络性能的稳定性,吸引更多的节点加入网络中,维持网络节点数目的规模,有效地抑制了网络中自由下载者问题以及洗白问题。

参考文献:

- [1] Adar E, Huberman B A. Free riding on gnutellap[J]. *First Monday*, 2000, 5(10): 42-68.
- [2] Feldman M, Chuang J. Overcoming free-riding behavior in peer-to-peer systems[J]. *ACM SIGecom Exchanges*, 2005, 5(4): 41-50.
- [3] Li Yuling, Liu Yuhua, Xu Kaihua, et al. Analysis and balanced mechanism on free-rider in P2P networks[C]//Proc of the 2nd International Conference on Computer Modeling and Simulation. 2010.
- [4] Feldman M, Papadimitriou C, Chuang J, et al. Free-Riding and White-washing in Peer-to-Peer Systems[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2006, 24(5): 1010-1019.
- [5] Hua Yusuo, Dong Dafan, Li Jiang, et al. Efficient and incentive-compatible resource allocation mechanism for P2P-assisted content delivery systems[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2013, 29(6): 1611-1620.
- [6] Rahman R, Meulpolder M, Hales D, et al. Improving efficiency and fairness in P2P systems with effort-based incentives[C]//Proc of IEEE International Conference on Communications. 2010.
- [7] Ma R T B, Lee S C M, Lui J C S, et al. Incentive and service differentiation in P2P networks: a game theoretic approach[J]. *IEEE/ACM Trans on Networking*, 2006, 14(5): 978-991.
- [8] Park J, Van der Schaar M. A game theoretic analysis of incentives in content production and sharing over Peer-to-Peer networks[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2010, 4(4): 704-717.
- [9] Zhao B Q, Lui J C S, Chiu D M, et al. Mathematical modeling of incentive policies in P2P systems[C]//Proc of the 3rd International Workshop on Economics of Networked Systems. 2008: 97-102.
- [10] Liu Zhengye, Hu Hao, Liu Yong, et al. Mobius P2P trading in social networks: the value of staying connected[C]//Proc of Conference on Information Communications. 2010: 2489-2497.
- [11] 邹君妮, 刘丽萍, 杨阳. 视频流在P2P覆盖网络中基于纳什议价解的带宽分配方法[P]. 中国, CN104023277 A, 2014.
- [12] Kang Xin, Wu Yongdong. Incentive mechanism design for heterogeneous Peer-to-Peer networks: a stackelberg game approach[J]. *IEEE Trans on Mobile Computing*, 2015, 14(5): 1.
- [13] Quek H Y, Tan K C, Arthur T. Public goods provision: an evolutionary game theoretic study under asymmetric information[J]. *IEEE Trans on Computational Intelligence and AI in Games*, 2009, 1(2): 105-120.
- [14] Zheng Jianchao, Cai Yueming, Xu Yuhua, et al. Distributed channel selection for interference mitigation in dynamic environment: a game-theoretic stochastic learning solution[J]. *IEEE Trans on Veh. Tech.*, 2014, 63(9): 4757-4762.
- [15] Zheng Jianchao, Cai Yueming, Liu Yongkang, et al. Optimal power allocation and user scheduling in multicell networks: base station cooperation using a game-theoretic approach[J]. *IEEE Trans on Wireless Commun.*, 2014, 13(12): 6928-6942.
- [16] Kreps D M. A course in microeconomic theory[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1990.