

P2P 中抑制 Free riding 行为的激励机制—节点所得税法^①

卢俊 侯济恭 (华侨大学 计算机学院 福建 泉州 362011)

摘要: 由于 P2P 网络节点的匿名性和贡献资源的自愿性,绝大多数节点缺乏提供服务的积极性,从而引发了 P2P 网络中的“Free riding”问题。在分析“Free riding”问题的基础上,依据拉弗曲线和美国个税方案,提出了一种基于个人所得税的激励机制(PIIM)。基于“富人多交税,穷人少交税”的思想来实现收入的二次分配,进而实现 P2P 系统的节点公平性。基于校园网运用的实验表明,该激励机制促进了社会公平,达到了激励节点参与资源共享的目的。

关键词: P2P; free riding; 激励机制

A New Incentive Mechanism-Based Personal Taxation for Free Riding in P2P Network

LU Jun, HOU Ji-Gong

(Computer Science Institute, Huaqiao University, Quanzhou 362011, China)

Abstract: Due to the anonymous participation and voluntary resource contributions in P2P system, the majority of peers lack eagerness to contribute resources or provide service to communities, which leads to the prevalence of “free riding”. Based on the analysis of “free riding”, according to Laffer Curve and U.S. Personal Income Tax, this paper gives a new incentive mechanism “PIIM” from the personal income tax idea. Based on the idea that “Tax the rich more than the poor”, a second distribution of income is achieved, to be fair in P2P system. The use of campus network based on the experiments show that the incentive mechanism promotes social equality, and the goal that the node can participate in resources sharing is fulfilled.

Keywords: P2P; free riding; incentive mechanism

近年来, P2P 技术^[1,2]在文件共享、流媒体等方面得到了广泛的应用。在 P2P 方式下,每个对等节点 (Peer)既是服务的提供者,又是服务的享用者。在一个典型的 P2P 网络中,节点不从属于网络中的任何其它实体,而是自我管理并决定资源的贡献。然而,节点由于固有的理性都希望最大化自己的利益和效用,同时最小化自己对其他节点提供资源。Adar 等人^[3]对 Gnutella 网络的用户行为进行了研究,研究发现,在 Gnutella 网络中有 70%的用户不共享任何资源,90%

的用户不响应其他用户发送的请求,25%的用户承担了系统 99%的负载。P2P 网络中大量节点做出这种理性的选择的结果最终导致: P2P 结构演变成传统的 C/S 结构,整个系统的效率大幅度降低,绝大多数节点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“Free riding”问题(搭便车问题)。Lui 等人在文献^[4]中认为用户之所以不愿意共享资源的主要原因有二:一是安全性。用户担心在共享资源后会遭受一些人为的攻击,还有不少用户担心 P2P 程序会

^① 基金项目:国家科技支撑计划(2007BAH16B02)

收稿时间:2009-06-23

频繁读写硬盘使得硬盘受损。二是担心机器带宽的耗费,降低机器的性能。

因此,在 P2P 网络中设计一种激励机制^[5]来鼓励节点提供尽可能多的上行带宽,提高协作度,最大化地共享资源。目前已经有不少研究人员提出了不同的激励机制,文献[6]提出的 **Eigentrust** 和文献[7]提出的 **Peertrust** 是比较经典的用来解决搭便车现象的声誉模型,每个节点通过文件交易累积声誉,声誉值大的享受更好的 QoS。文献[8]从博弈论的角度去探讨了一种新型的激励机制。文献[9]提出,节点的贡献用贡献积分表示,积分可以潜在地转化成为竞争父节点的能力,有较高分数的节点被赋予较高的优先权,低积分的节点只能以较低的优先权下载,并且提出了更精确衡量节点贡献的方法。

上述模型各有其优点,但是由于其激励的机制过于苛刻,对一些能力较弱的节点产生了排斥性,导致了这些节点不能够享用服务。本文提出一种新型的激励机制:“基于个人所得税原理”的新型激励机制 **PIIM(personal income tax)** 利用了最低收入保护原则,使得那些能力较弱的节点也能够享受到服务,同时又能起到抑制搭便车的行为,充分体现了公平性原则。

1 PIIM激励机制的设计

1.1 激励模型

“基于个人所得税原理”的激励机制 **PIIM** 的提出来源于现实生活中个人所得税的征收。

在日常生活中,个人所得税的收取方案,其实是一个典型的分段函数。税务部门利用个人所得税的最低起征点来保护低收入群体,同时收入越高者上税收越多,这种“富人多交税,穷人少交税”的思想较好的实现社会收入的二次分配,进而实现社会公平。

PIIM 的核心思想是通过“个税函数”来进行收入的二次分配的。**PIIM** 把节点 **Pi** 获取到的资源量抽象成“个人收入”,把上传资源抽象成利用税率进行征收“个人所得税”。**Pi** 节点获取的资源数量是已知的,而问题在于所得税税率的确,一个合适的个税税率才是确保系统的整体公平性和提升系统性能的关键。

为了更好的说明 **PIIM** 的设计原理,对一些重要行为定义如下:

定义 1. 节点的收入

通过下载的文件数量、速度来衡量。即

$$SV(Pi,t) = \alpha \times \sum_{i=0}^t SizeDown(Pi,ti) + \beta \times SpeedDown(Pi,t) \quad (1)$$

式子中 $sizeDown(Pi,ti)$ 为下载的文件大小, $speedDown(Pi,t)$ 为目前的下载速度。其中 $\alpha + \beta = 1$,且 $\alpha, \beta \in (0,1)$, 值越大,节点收入受到下载速度影响越大,那么应收的税款也越大,含义为享受越高的下载服务,需要越大的付出。通常取为 0.8~0.9 的常数。

定义 2. 节点贡献值函数 **Contribution value (CV)**

是通过节点在线时间,节点共享文件的数量,和节点已经上传的文件数量

$$CV(Pi,t) = OL(t) + \sum_{\forall F \in List(pi)} CountF(Pi) + Sizeup(Pi) \quad (2)$$

右端的代表的是到 t 时刻的节点在线时间,通常而言,节点的在线时间越长,贡献程度也越大,代表的是节点总共享文件数量。是上传的文件大小。本定义是一个很关键的概念,定义的复杂度小,却能客观的反映出节点的贡献程度。(2)式很好的反映出在线时间、节点共享文件数量、的已经上传文件数量与贡献度的正比例关系。

定义 3. 个税函数

个税函数的设计是本文的核心。从经济学的角度看个税征收的问题:税收征收率不能过高,要尽可能避免过多征收而伤害企业和个人的积极性,影响经济持续稳定发展,而最终又影响财政收入的增长。

根据 1975 年,供应学派的代表人物之一,美国南加利福尼亚大学经济学教授阿瑟·拉弗设计的一条曲线,即拉弗曲线^[10]。如图 1 所示。

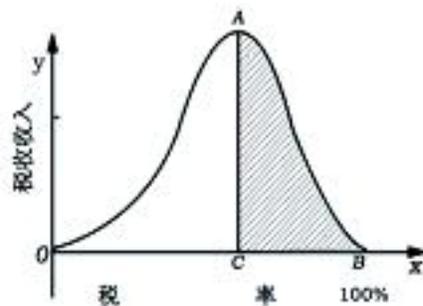


图 1 拉弗曲线

拉弗曲线表明:一个国家的整体税率(以下简称税

率)和税收收入及经济增长之间存在函数变化关系。两种极端的情况是, 税率为 100% 时, 从社会再生产角度来分析, 生产就会因此停顿, 政府再也无税源可征, 因此同税率为零时的结果相同, 税收收入均为零。当税率由零提高税收收入就会随之而增加, 即在 0 至 C 之间, 税收收入是税率的递增函数; 但在税率 C 至 B 之间, 税收收入是税率的递减函数, 税收收入随着税率的继续提高而减少。税率 A 点为最适度的税率。因此, 税收收入的适度就是在正常税率区域 0 至 C 之间, 找到一个最为适度的征收点, 图中右边阴影部分, 拉弗称之为税收禁区, 意思是禁区内的税率过高, 即妨碍生产, 又减少税收收入, 故均不可取。拉弗曲线的重要作用, 就是减税效应和最适税率的选择。确定国家财政收入的适度的度, 拉弗曲线有参考作用。

PIIM 的税率制定也遵循拉弗曲线提出的税收适度原则, 如果订立了较高的税收政策, 那么太多的节点会因为在下文 1.3 提出的惩罚策略而遭遇到限速, 这些节点会因为享受不到较好的服务, 而选择离开 P2P 网络, 造成了 P2P 系统网络中的资源数量出现大幅度的降低, 进而造成了其他节点因为在 P2P 网络中找不到所需要的资源, 而废弃使用 P2P 系统。

PIIM 的个税税率方案借鉴了受到大多国家认同的美国的个人所得税方案, 采用了 5 级累进税率, 其由低到高税率档次为: 15%、28%、31%、36%、39.6%。PIIM 税率的数学模型是一个分段函数, 定义为收入百分比

$$S(P_i) = \begin{cases} 0 & 0 \leq a < 10\% \\ 15\% & 10\% \leq a < 20\% \\ 18\% & 20\% \leq a < 25\% \\ 31\% & 25\% \leq a < 35\% \\ 36\% & 35\% \leq a < 45\% \\ 39.6\% & 45\% \leq a \leq 100\% \end{cases} \quad (3)$$

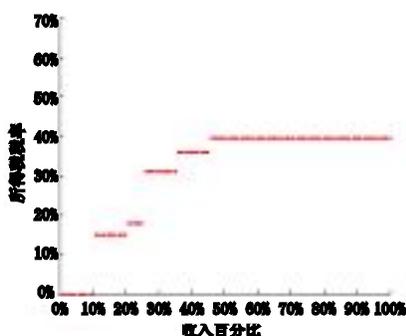


图 2 个税函数 $S(P_i)$ 图形表示

如图 2 所示。收入的 0-10% 阶段是不需要上税的, 我们称之为免税区间。免税区间的设置的给予刚进入网络的节点或者是能力较弱的节点一些优惠待遇, 目的是让更多的节点能够加入的 P2P 系统中。

1.2 搭便车行为分析

在对等网络行为学中, 我们关注的不是对等网络的网络结构, 而是在 P2P 网络中如何促使交易相关的人们行为走时所表现出来的行为。试验证明, 这些行为如果不进行正确地控制, 将会导致灾难性的后果。我们将对等网络中用户的行为统一看成节点的行为 (因为它们所表现的行为是一致的)。定义对等网络中的 4 种节点^[11]。

顺从的节点: 该类型的节点严格遵照事先定义的算法和协议运行; 故障的节点: 该类型的节点出现某种故障, 不能正常运行;

自利的节点: 该类型的节点参与系统是为了最大程度的满足自己的利益, 当本节点的利益与系统的整体利益相冲突时, 会优先考虑自己的利益; 能够利用从系统中获取的信息来设计自己的策略, 从而满足自己的需要;

敌意的节点: 该类型的节点蓄意破坏系统, 并以此为目的来确定策略。

其中, 后两种节点也被成为策略性节点, 因为它们都有自己的策略; 相应的, 前两种节点则可被称为非策略性节点。本文认为, 系统中的多数节点为自利节点, 这是我们的研究的重点; 并存在着相当数量的顺从节点, 二者构成了绝大部分节点; 同时也存在少量敌意节点, 该类节点还涉及到安全问题, 并往往为了达到其目的会具有一些自利的行为, 因此仅做适当考虑, 而不作为研究重点。

1.3 惩罚策略

在常见的 P2P 激励机制的惩罚策略中, 主要有如下惩罚方案: 第一类的惩罚方法是直接取消与搭便车者的连接。如果搭便车者与邻接节点的连接中断, 该节点则被从对等网络中清除。第二类是快速速降低搭便车者发出的查询请求消息包的 TTL 值。在无结构对等网络中, 报文转发次数依赖于报文的 TTL 值。一般报文转发一次, 其 TTL 值减 1。若采用以上惩罚机制, 则搭便车者发出的查询报文 TTL 值可能一次减 2。报文在对等网络中转发次数降低, 传播范围变小, 获得响应报文数量会降低。因为在线用户数量是衡量 P2P 系统的一个重要指

标,如果用采用如上过于严厉的惩罚策略,那么节点就有可能主动或者被动离开 P2P 网络。PIIM 的惩罚主要是通过限制节点的下载速度来实现的,当节点的搭便车行为突出的时候,,采取限制下载速度的方法,即 K/s,这样的策略既可以让节点可以下到所需要的资源,不让节点离开 P2P 网络,又可以增加节点停留在 P2P 网络中的时间,从而增大其对系统的贡献度。

2 实验评估

为了评估 PIIM 激励机制的效果,我们利用已经搭建好的校园网内的 P2P 文件共享平台易网贝贝进行试验。易网贝贝是一个基于 StrongDC++^[12]的 P2P 文件共享程序的二次开发版本,目前在 H 学校,每天的登录易网贝贝的独立 IP 多达 6000 个。两组实验分别重复进行了 3 次,选择时间段是 19 点至 23 点,这个时间段是同学登录系统最多的时段。

首先,对比了在同一时间段内,引入了激励机制的 P2P 系统(incentive-based P2P)和没有引入激励机制的 P2P 系统(P2P),随着时间的变化,系统中的可用存储源总量的变化情况。如图 3 所示:

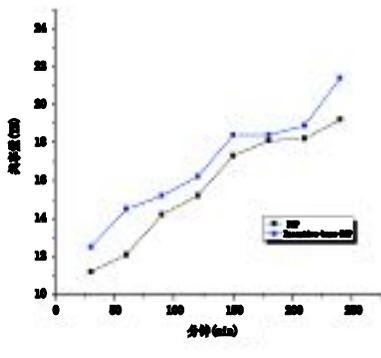


图 3 使用 PIIM 与无激励的 P2P 系统中系统中的可用存储随时间变化情况

两次实验中,随着加入 P2P 网络的节点的增加,共享量都出现了增加,但是引入了激励机制的 P2P 网络中,同一时段内,系统中的共享量要比没有引入激励机制的 P2P 网络中的共享量要大。这主要是因为 P2P 系统中,节点对资源存储的贡献度没有积极性,其是否共享了资源,以及共享了多少资源,对该节点的下载请求服务并没有多少影响。而在引入了激励机制的 P2P 网络中,由于其下载请求服务,受到了税率机制的影响,如果想得到较快的下载服务,那么它需

要多贡献资源,并且增加在线时间长度,这就促使了节点更多的贡献资源,也就使得同一时段内的系统资源总量大于了没有引入激励机制的 P2P 系统。其次对比了基于激励机制 PIIM 的 P2P 系统和没有引入激励机制的 P2P 系统的情况下,各类节点服务质量的情况。服务质量用成功下载率

服务质量用成功下载率 SDR(successful downloadratio)衡量。SDR = 下载成功次数/要求下载的总次数。结果如图 4 所示:

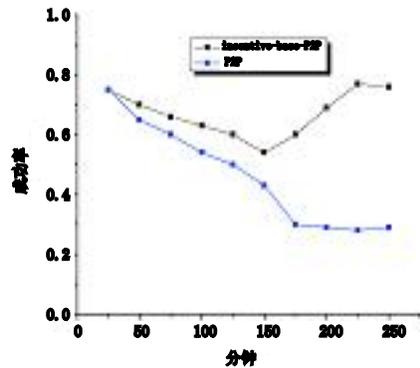


图 4 系统中各类节点 SDR 随着时间的变化情况

3 结语

本文针对 P2P 系统中贡献存储资源的 Free riding 问题,提出了一种基于个人所得税的激励机制。利用个税函数进行节点的收入的二次分配,提高节点的贡献资源的积极性。根据拉弗曲线的含义,有一个最适宜的税率征收点。但是在现实生活中,由于涉及到各方面的公平性和社会效率等矛盾,各国都根据自己的国情提出了不同的税率方案,PIIM 虽然借鉴了受到大多国家认同的美国税率方案,但是仍需要我们进一步去探讨在不同网络环境下,能否找到更加合适的税率方案。通过校园网中的实验测试表明:PIIM 机制能有效的实现 P2P 系统中存储资源分配的公平性,达到激励节点参与贡献资源的目的,抑制节点的自私行为。

参考文献

- 1 罗杰文.Peer to Peer(P2P)综述[2005-04].中科院计算技术研究所, <http://www.intsci.ac.cn/users/luojw/P2P/index.html>
- 2 龚海刚,刘明,谢立.P2P 流媒体传输的研究进展综述.

(下转第 122 页)

(上接第 66 页)

- 计算机科学, 2004,9:20-22.
- 3 Adar E, et al. Free riding on Gnutella. First Monday, 2000, 5(10):134-139.
 - 4 Lui SM, et al. Participation incentive mechanisms in peer-to-peer subscription systems. Proc. 35th HISS. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2002.
 - 5 万健,郑若艇,徐向华. P2P 网络中激励机制. 计算机应用研究, 2007,9:2202-2205.
 - 6 Feldman M, Papadimitriou C. Free-riding and whitewashing in peer-to-peer systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006,24(5):228-236.
 - 7 Xiong L, Liu L. PeerTrust: supporting reputation-based trust for peer-to-peer electronic communities. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(7):843-857.
 - 8 徐海涓,郑相全,齐守青,聂晓文. 一种新的基于博弈论的 P2P 激励机制. 计算机应用研究, 2008,9(9):2787-2789.
 - 9 路卫娜,杨寿保,郭磊涛. P2P 流媒体系统中积分检测相结合的激励机制. 中国科学院研究生院学报, 2008, 1:(25):61-67.
 - 10 郝硕博. 拉弗曲线探析. 财经问题研究, 2000,(6):15-18.
 - 11 马永泉. 对等网络存储系统中激励机制的研究[硕士学位论文]. 北京:清华大学, 2005.
 - 12 StrongDC++V2.22 [http:// strongdc.Source-forge.net/index.php?lang=eng](http://strongdc.Source-forge.net/index.php?lang=eng), 2009-02-12