

文章编号: 2095-4980(2015)02-0308-04

## 一种新的基于 P2P 系统的用户行为满意度分析模型

陈碧韵, 倪卫明

(复旦大学 信息科学与工程学院, 上海 200433)

**摘要:** 长期对等(P2P)系统中的搭便车行为使得系统渐渐失去了原来分布式共享的特点。为了抑制这种行为, 提出了一种新的P2P系统评价模型。该模型基于博弈论抑制模型和节点行为的激励模型的特点, 对用户行为采用信誉值进行评价, 信誉值的表征体现用户阶段性的表现, 并采取一定的限制抑制自私节点的产生。将该模型内的各种激励机制进行数学建模, 并利用自回归(AR)模型进行拟合。仿真结果表明, 在该模型下, 系统的评价呈周期性变化, 满意度趋于平稳, 在30%左右。

**关键词:** 博弈论; 对等系统; 自回归模型; 用户行为

**中图分类号:** TN915.9; TP393.2      **文献标识码:** A      **doi:** 10.11805/TKYDA201502.0308

## A new model of user-behavior satisfaction analysis based on P2P systems

CHEN Biyun, NI Weiming

(Department of Information Science and Technology, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** Long-term free-riding behavior of Peer to Peer(P2P) systems makes the system gradually lose its original distributed shared characteristics. In order to prevent selfish behaviors, a new evaluation model for P2P systems is proposed based on the characteristics of game theory suppression model and incentive-based node behavior model. The reputation value which reflects the period performance of users is adopted to characterize user-behavior, and some confinement conditions are set to prevent generating selfish nodes. The various kinds of incentive mechanisms in P2P systems are mathematically modeled and fitted with Auto-Regressive(AR) model. The simulation results based on this model show that the behavior of the system evaluation changes periodically; and the satisfaction is stabilized to a smooth number, 30%.

**Key words:** game theory; Peer to Peer system; Auto-Regressive model; user behavior

对等(P2P)网络是一种点对点的分布式网络, 在资源共享、分布式计算、实时通信、协同工作、信息检索等方面都有着广泛应用。P2P去中心化的特点使得用户有足够的自由度去选择自己喜欢或者感兴趣的应用。然而, 在P2P系统中, 并非所有的用户都愿意承担上传资源的义务, 他们大多是自私的, 这些搭便车<sup>[1]</sup>的行为会导致系统的不稳定性, 久而久之, P2P系统失去了原来分布式共享的特点。如何解决搭便车问题, 对于P2P系统的运营者来说, 是至关重要的。因此需要寻找一种能够基于用户行为的P2P运行机制来解决传统P2P系统中存在的一些问题。

对于P2P运行机制, 有很多研究方向, 一类文献<sup>[2-3]</sup>主要集中在系统拓扑设计与实现以及性能评估上; 而另一类对于基于用户行为的研究主要集中在搭便车行为上<sup>[4]</sup>。2000年8月, Adar和Huberman对经典大型对等网络Gnutella进行了一天的流量监测, 统计结果表明, 网络中只有极少数节点在提供文件共享服务, 绝大多数节点并没有共享文件, 而只享受热心节点提供的服务, 这些节点占到所有节点的80%左右, 这与P2P网络中节点的机会主义以及自私贪婪特性是分不开的。从2003年提出搭便车抑制机制以来, 有很多的抑制策略被提出, 其中就包括基于博弈论的抑制模型<sup>[5-7]</sup>以及基于用户行为的激励机制<sup>[8-10]</sup>。激励机制是最普遍的抑制策略, 根据节点分享的文件大小来构建效用函数, 效用函数正比于该节点对于其他节点的贡献。基于博弈论的抑制模型则认为节点在对等网络中的行为是不断的重复博弈过程, 采用服务收益和服务成本作为效用函数的构造参数。本文提出一个新的P2P网络评价模型, 该模型与之前模型不同, 将博弈论概念与用户行为信誉值结合, 从而有效抑制搭便车行为。

## 1 模型建立

### 1.1 基本思路

从节点(即用户)的角度出发,评价一个系统的好坏,主要关注的是下载资源时的主观感觉。从整个P2P系统角度出发,为了能使系统长久稳定地生存下去,一些对于用户节点的激励机制是不可少的。系统希望节点用户在享受高速下载资源的同时,也能相应地给予一些上传回馈,让更多的人享受到P2P下载的优势。

由于单个用户节点的下载资源依赖于其他用户节点的上传响应,所以对于单个用户节点来说,是否提供上传服务是衡量用户节点质量的一个条件。搭便车行为对于整个系统来说是没有益处的。从系统角度出发,应该提出一些激励措施亦或是限制措施,预防大批量自私行为的产生。

对等网络中的每个节点是该模型的建立对象,且节点的行为是自私的,不会无偿地上传资源。同时也假定整个P2P网络的生命周期是无限长的,生命周期将被分为一个个单独的时间点,用 $t$ 表示, $t=0,1,\dots,\infty$ ,在每个时刻 $t$ ,每个节点通常会收到一个服务请求(通常是来自其他节点的上传请求),这种节点间交互的请求被认为是一种无限长的博弈游戏,每个节点都是博弈游戏中的参与者。博弈策略有2种,当节点收到服务请求时,节点可以根据自己的情况,选择提供服务或者不提供服务2种策略,即一种是接受服务请求,提供文件分享服务,另一种是拒绝服务请求,不提供上传服务。节点给出的策略是随机的。

为了更好地表征用户节点对于P2P系统的贡献,引入用户信誉值概念,它的意义除了能够量化用户对于系统的贡献之外,还能用来衡量用户下载资源时的相应权限。

### 1.2 模型规则

这里给出模型的几条规则:

- 1) 每个用户都是独立的,用户做出的决策不会受到其他用户的影响,也不会影响其他用户。
- 2) 用户的实际表现以用户信誉值来表征,当用户提出下载请求后,用户信誉值会根据用户自身的表现不断修正。若用户不提出下载请求,用户信誉值将不变。用户信誉值阈值用来抑制搭便车行为的产生。
- 3) 在每个时刻,每个用户对于是否上传资源可以做出2种决策。若在某个时刻,某用户由于信誉值不够而无法下载资源时,该时刻用户一定选择提供服务策略。
- 4) 采用成功下载人数与下载请求的人数之比来衡量系统的表现。为简化,每个时刻提出下载请求的人数是相同的。

### 1.3 模型表示

假设系统中有 $n$ 个用户,每个用户都有自己的信誉值,且每个用户的初始信誉值都相同,在每个时刻 $t(t \geq 0, t \in \mathbf{N})$ ,会有一部分用户提出下载资源请求,系统会根据第 $i$ 个用户当前的信誉值 $R_i(t)$ 进行评估,若该用户当前的信誉值大于等于阈值: $R_i(t) \geq R$ ,用户提出的下载资源请求将通过,用户可以在当前时刻进行资源下载。反之,如果该用户当前信誉值过小,用户将不能在该时刻下载资源。考虑到系统的稳定性,用户的信誉值与用户自身的表现有关。

作为一个用户,在某个时刻 $t$ ,他可以做出2种决策:提供服务和拒绝服务。参数 $\omega$ 用来表征某个时刻用户给出的服务策略,若 $t$ 时刻用户提供上传服务,则 $\omega=1$ ;反之,则 $\omega=0$ 。系数 $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$ 称为权限系数。若用户每个时刻都不提供上传服务,该用户信誉值会指数倍减小,若某一时刻开始小于信誉值阈值,系统将会限制该用户进行下载服务,直至提供上传服务以增加用户信誉值至阈值以上为止。信誉值函数如下:

$$R_i(t) = (1 - \alpha)R_i(t-1) + \omega\alpha \quad (1)$$

由于 $0 \leq \alpha \leq 1$ ,同时用户信誉初始值 $R_i(0)$ 也在0到1区间范围内,所以 $0 \leq R_i(t) \leq 1$ 。

$\omega$ 是随机变量, $\omega \in \{0,1\}$ , $P_{i,t}\{x=1\} = P_{\omega=1,i}(t)$ , $P_{\omega=1,i}(t)$ 表征 $t$ 时刻该用户提供上传服务的概率。

$$P_{\omega=1,i}(t) = (1 - \beta)P_{\omega=1,i}(t-1) + y\beta \quad (2)$$

式中: $y$ 为上传系数,可取0或1,表征是否上传服务,并规定:如果用户在上一次提出下载资源申请时被拒绝,此时 $y=1$ ,否则 $y=0$ 。由于用户大多是贪婪的,所以当用户发现自己由于权限不够无法下载时,会暂时开启上传功能提供相应的上传服务,以攒够信誉值,然后再进行下次下载; $\beta(0 \leq \beta \leq 1)$ 为服务概率指数,若用户每个时刻都不提供上传服务,则 $t$ 时刻该用户提供上传服务的概率越来越小,会间接影响该用户的信誉值。只有当用户提

出下载请求被拒后,用户会主动上传资源,并同时提高用户的信誉值。

对用户来说,评价一个P2P系统的好坏在于是否能够成功下载资源,这里提出采用成功下载人数与下载请求的人数之比(用 $V(t)$ 表征)来衡量系统的满意度( $0 \leq V(t) \leq 1$ )。为简化系统,假定每个时刻 $t$ 提出下载请求的人数是确定的,也就是说,成功下载人数越多,该系统的满意度越好,从用户角度来说,这个P2P系统越好。对于 $V(t)$ 的表征采用模型进行预测。模型可以看成是一个时间序列,对于满意度的表征曲线可以采用自回归滑动平均(Auto-Regressive and Moving Average, ARMA)模型,AR模型和滑动平均(Moving Average, MA)模型进行曲线模拟。由于模型采用的都是一阶差分方程表示,AR模型比较适用于本模型的估计,AR系数的确定采用最终预测误差(Final Prediction Error, FPE)准则和最小信息准则(Akaike Information Criterion, AIC)。

## 2 仿真测试

为简化系统,假设该系统中有1 000个用户,每个时刻 $t$ 都有10%的用户提出下载请求,即100个用户,信誉值阈值 $R=0.3$ ,每个用户的初始信誉值 $R_i(0) = R = 0.3$ ,用户提供上传服务的概率初始值 $P_{\omega=1,i}(0) = 0.5$ ,权限系数 $\alpha = 0.5$ ,服务概率系数 $\beta$ 会有几种取值:

$$R_i(t) = 0.5(R_i(t-1) + \omega), R_i(0) = 0.3 \quad (3)$$

$$P_{\omega=1,i}(t) = P_{\omega=1,i}(t-1)(1-\beta) + y\beta, P_{\omega=1,i}(0) = 0.5 \quad (4)$$

表1为系统中某个用户的信誉值随迭代次数的变化,从表1可以发现,由于规则规定用户信誉值只有在用户提出下载需求时才会变化,所以用户信誉值呈现阶梯状。若上传服务概率偏小,用户选择拒绝上传服务策略后,用户信誉值会减半。而如果用户选择接受上传服务后,用户信誉值会增加 $\alpha$ 左右。

用户的上传服务概率随着时间的推移呈规则性变化。图1中,横坐标表示仿真系统中的时刻 $t$ ,纵坐标表示某用户的上传服务概率。 $\beta=0.1$ ,即 $P_{\omega=1,i}(t) = 0.9P_{\omega=1,i}(t-1) + 0.1y$ ,由于 $\beta$ 系数较小,上传服务概率的变化也比较小。

表1 某用户的用户信誉值

Table1 Reputation values of one user

iterations	probability	iterations	probability
1-3	0.300 0	31-53	0.020 3
4-13	0.650 0	54-64	0.010 2
14-30	0.325 0	65-69	0.005 1
31-34	0.162 5	70-71	0.002 5
35-44	0.813 0	72-88	0.501 3
45-47	0.040 6	89-100	0.750 6

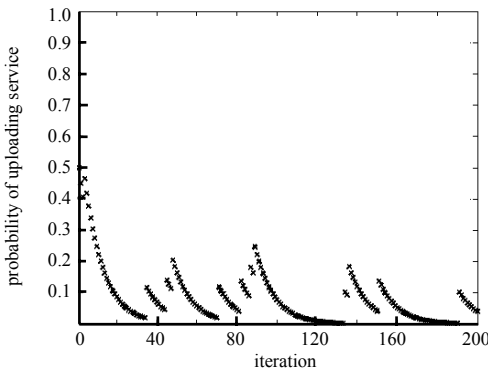


Fig.1 One user's probability of uploading service  
图1 某用户的上传服务概率

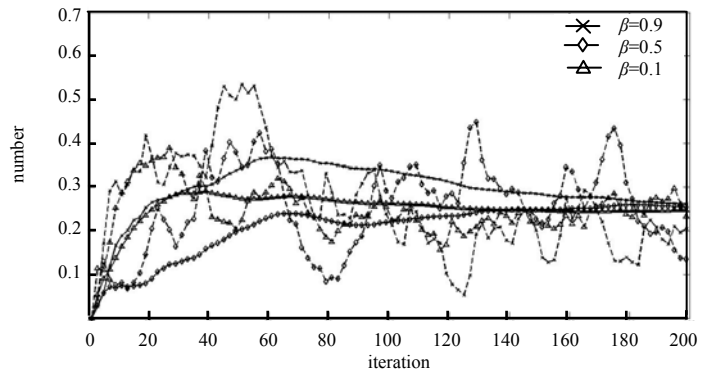


Fig.2 Number of users downloading resources  
图2 下载资源人数( $\beta$ 不同)

利用式(3)和式(4),得到图2所示的仿真结果。该图表征的是整个系统每个时刻下载资源成功人数的大致曲线,其中 $\beta$ 不同。虚线为原始数据,实线为平均值。从图2可以看出,系统呈现周期性变化,在某些时刻,下载资源成功率很低,原因在于节点的信誉值不够,但由于激励机制的存在,用户开始上传一些资源,提高信誉值之后,下载成功人数便增长。从曲线的波动来看, $\beta=0.9$ 的幅度变化最大,这是由于 $\beta$ 越大,上传服务概率变化越大,间接影响用户信誉值。但从均值曲线来看, $\beta$ 的大小对于曲线的影响不大,平均满意度在30%左右。

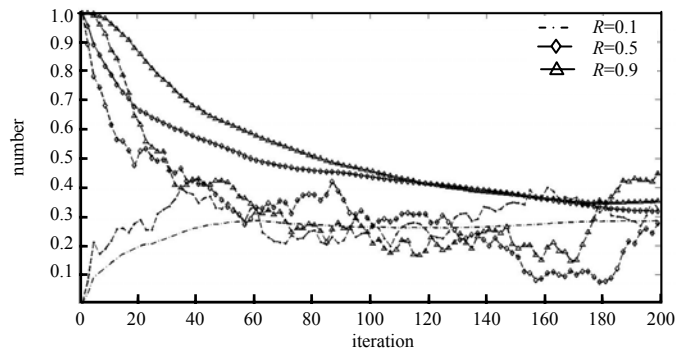


Fig.3 Number of users downloading resources  
图3 下载资源人数( $R$ 不同)

图3的仿真结果中,用户信誉值阈值发生了变化,分别是 $R=0.1, R=0.5, R=0.9$ ,用户信誉值初值不变。从结果来看,满意度会在一段时间后趋于稳定,平均满意度都在30%左右, $R=0.1$ 的曲线幅度较大。对于完全自私的节点来说,图2和图3的效果不错。如果加入一些无私的节点,满意度还会更高。对于图2的具体表征,采用模型拟合的方式表征 $V(t)$ 。

AR模型对于阶数的确定采用FPE和AIC准则。从图4可以看到,根据图2, $\beta=0.1$ 的曲线,采用FPE和AIC准则,都得到 $n=4$ 时,残差最小。最终得到评价曲线:

$$V(t) = 0.537V(t-1) + 0.1986V(t-2) + 0.2452V(t-3) - 0.003455V(t-4) \quad (5)$$

$V(t)$ 经过求解之后,所有的解都在单位圆外,即评价曲线是稳定的。用户对于P2P系统的满意度评价来自于最近几次下载行为的感受。这与现实生活中的感官是一样的。如果几次下载感受都比较好,对于系统的满意度也比较好。

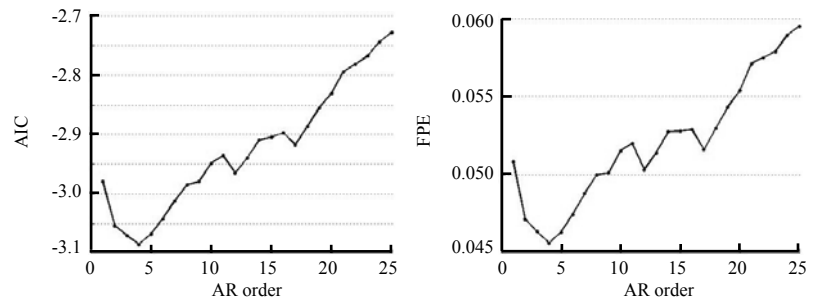


Fig.4 Order determination of AR model

图4 AR模型阶数确定

### 3 结论

结合基于博弈论抑制模型和基于节点行为的激励模型的特点,提出了一种新的P2P系统评价模型。采用一阶

差分方程的形式表征用户信誉值,并利用随机变量表征上传服务概率,最后利用AR模型进行拟合。通过仿真研究得出:用户对系统的评价呈周期性变化,满意度趋于平稳。

#### 参考文献:

- [1] LI Minglu, YU Jiadi, WU Jie. Free-riding on bit Torrent-like Peer-to-Peer file sharing systems: modeling analysis and improvement[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2008, 19(7): 954-966.
- [2] Cichon Jacek, Cichon Krzysztof, Kobylanski Przemyslaw. Node evaluation in the chord P2P systems[C]// 2009 Fourth Int. Conference on Dependability of Computer Systems. Brunow, Poland: [s.n.], 2009: 168-175.
- [3] Harvesf C, Blough D M. Replica placement for route diversity in tree-based routing distributed hash tables[J]. IEEE Trans. on Dependable and Secure Computing, 2011, 8(3): 419-433.
- [4] 余一娇, 金海. 对等网络中的搭便车行为分析与抑制机制综述[J]. 计算机学报, 2008, 31(1): 1-15. (YU Yijiao, JIN Hai. A survey on overcoming free riding in peer to peer networks[J]. Chinese Journal of Computers, 2008, 31(1): 1-15.)
- [5] WANG Chunzhi, CHEN Li, CHEN Hongwei, et al. Incentive mechanism based on game theory in P2P networks[C]// 2010 Second International Conference on Information Technology and Computer Science. Kiev, Ukraine: [s.n.], 2010: 190-193.
- [6] QI Shouqing, YANG Lei, XU Haimei, et al. A novel P2P network model for cloud computing based on game theory[C]// 2012 International Conference on Computer Science and Service System. Nanjing, China: [s.n.], 2012: 1635-1638.
- [7] ZHAO Bridge Qiao, John C S L, Chiu D M. A mathematical framework for analyzing adaptive incentive protocols in P2P networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2011, 20(2): 367-380.
- [8] Vinay Aggarwal, Obi Akonjang, Anja Feldmann, et al. Reflecting P2P user behaviour models in a simulation environment[C]// 16th Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing. Toulouse, France: [s.n.], 2008: 516-523.
- [9] ZHENG Yi, PENG Jin, YU Qing, et al. A measurement study on user behavior of P2P VoD system[C]// 2010 2nd Int. Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics. Wuhan, China: [s.n.], 2010: 373-376.
- [10] Ihsan Ullah, Guillaume Doyen, Gregory Bonnet, et al. A survey and synthesis of user behavior measurements in P2P streaming systems[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012, 14(3): 734-749.

#### 作者简介:



陈碧韵(1990-),女,上海市人,在读硕士研究生,主要研究方向为数据通信与网络。email: sally\_chen@outlook.com.

倪卫明(1970-),男,上海市人,博士,副教授,主要研究方向为无线通信和无线网、通信信号处理、编码技术等。