

# 利用无私节点改善基于支付机制 P2P 应用的性能

彭冬生 林 闯 刘卫东

(清华大学计算机科学与技术系 北京 100084)

**摘 要** P2P 应用中引入支付机制能够激励用户共享自己的资源来换取他人的服务,但缺点是用户获取货币能力不均衡会导致一些用户难以获得服务.文中提出加入一定的无私节点来提供基本服务保障时间来改善网络可用性的思路,并采用排队论理论对加入无私节点的网络性能进行了建模分析,得出系统请求平均等待时间、请求分配比例、服务保障时间和无私节点比例之间的函数关系,对于评估和优化系统性能有一定的指导意义.

**关键词** 性能分析;排队论;建模;支付机制;P2P

**中图法分类号** TP393

## Improving the Performance of Payment Mechanism Based P2P Application with Altruistic Nodes

PENG Dong-Sheng LIN Chuang LIU Wei-Dong

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** While using payment mechanism in P2P resource-sharing application encourages users to share resources in exchange for better services, the disadvantage is that the user's ability to earn money is unbalanced such that some users can hardly get services. By introducing some altruistic nodes to provide the guaranteed services, the availability of the network can be improved. The performance of the network with altruistic nodes is modeled and analyzed using queueing theory. Parameters of average request waiting time, percentage of the requests served by altruistic nodes and ratio of the altruistic nodes are formulated, which can be used as guidelines to the system performance evaluation and optimization.

**Keywords** performance analysis; queueing theory; modeling; payment mechanism; P2P

## 1 引 言

P2P 资源共享网络中一般有两类节点:无私节点和理性节点.无私节点是指无条件共享资源的节点;而理性节点不会无偿贡献资源,除非能够获得更好的性能.如果没有适当的激励机制来引导理性节点共享资源,P2P 应用的可用性只能依赖无私节点

的贡献.目前很多因素导致无私节点比例降低,如资源过度占用、ISP 限制、自身积极性降低等,使得 P2P 应用的可用性越来越差.

支付机制是一类有效的激励方法.它采用类似经济学中的虚拟货币:节点支付货币来“购买”服务,而通过“售出”资源获取货币.这种机制不仅能防止“搭便车”行为发生,而且大大提高网络整体服务能力和实际成功交易概率,从而提高其可用性.

然而这种机制仍然存在局限性:一方面是节点“售出”资源的能力和自身拥有的资源、网络拓扑结构以及资源查找算法密切相关,因此容易出现不均衡现象,使得有些用户能迅速“售出”服务从而获得所需的货币,有些用户却长时间无法“售出”服务;另一方面,无论是出于纯粹的奉献,还是基于这种方式能够从其它途径受益(广告性质),网络中客观存在一定的无私节点。

本文提出一种取长补短的思路,即引入一定的无私节点提供最低服务保障,所有节点都能获得基本服务.若要获得更好的服务,节点必须尽量通过提高“售出”服务的能力来换取,从而保证了公平性,并提升了网络应用的整体性能.后续章节可以看出,引入无私节点并不会导致其服务拥塞,而是达到一种均衡状态。

本文以请求等待时间作为性能评估参数,采用排队理论对这种基于支付机制且加入无私节点的网络应用进行建模分析,推导出系统的请求平均等待时间以及提交给无私节点的请求比例和最低保障服务时间的函数关系,从理论上对引入无私节点对于支付机制的网络应用的有效性进行了分析。

本文第2节简述相关研究;第3节介绍模型假设和排队模型;第4节对加入无私节点的系统进行理论分析;第5节举例说明方法的有效性;在第6节给出结论和后续研究。

## 2 相关研究

研究表明,“搭便车”行为普遍存在并且严重影响 P2P 应用的发展<sup>[1-2]</sup>.文献[1]中发现在 Gnutella 网络中 85% 的节点不做任何贡献,而 50% 的贡献来源于 1% 的无私节点。

针对这种情况提出多种激励机制. eMule<sup>①</sup> 和 BitTorrent<sup>②</sup> 采用类似“Tit-for-Tat”的互利方式来鼓励共享,但是不适用于同一对节点间不经常发生交易的情况.基于信誉的机制<sup>[3-5]</sup>思想是使贡献越多的用户获得越高的全局信誉,从而也能够获得更好的服务.这种机制存在的问题是难以防范 Sybil Attack<sup>[6]</sup>攻击,恶意节点能够通过申请多个 ID 来合谋获取高的全局信誉.另一种机制是采用虚拟货币的支付机制,用户通过售出服务获取货币,才能购买所需的服务. KARMA<sup>[7]</sup>提出了一种分布式支付机制,它能够保证节点交易的完整性和安全性.当然支付机制同样存在类似经济学中的通胀和通缩问题。

文献[8]中作者从流量均衡和效率方面分析了支付机制的性能,认为在保证一定的货币比例和在线用户数量时,网络能够达到一个效率最高的纳什均衡。

文献[9]中作者给出了一种博弈论的方法来为 P2P 网络提供激励和区分服务,保证贡献越多的用户获取更多的服务资源,并且能够有效防止合谋获利的现象.这对本文有借鉴作用。

## 3 建 模

### 3.1 模型假设

P2P 支付机制的研究很多,为了便于描述,本文假定 P2P 文件共享应用中采用如下机制:

- (1) 采用虚拟货币,每个节点的货币数  $\geq 0$ ;
  - (2) 节点 A 从节点 B 下载一个文件,则 A 货币数减 1, B 货币数加 1;
  - (3) 节点必须事先获得货币才能发起下载请求;
  - (4) 能处理类似经济学中的通胀和通缩的情况,保证交易的平稳进行;
  - (5) 节点从无私节点下载文件,不用支付货币.
- 同时作如下假设:

- (1) 节点提供服务的能力为  $\mu$ , 请求到达速率为  $\lambda$ , 都服从泊松分布;
- (2) 每个节点最多只能拥有  $M$  个货币单位.

### 3.2 排队模型

在支付机制的资源共享应用中,节点为了赚取货币而提供服务,网络成为“买方市场”:节点用货币换所需服务容易,而用服务换货币困难.此时可以假设下载请求为到达事件,而提供下载服务为服务员.因此节点请求与服务用排队论<sup>[10]</sup>模型可以表示为图 1 所示的形式。

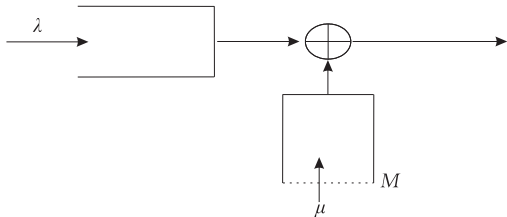


图 1 支付机制共享应用的排队模型

两个队列互相为对方服务,其中请求队列是无长度限制的,而货币队列的最大长度为  $M$ . 简化上述模型可得以下模型,如图 2 所示。

① eMule Project. <http://www.emule-project.net/>

② BitTorrent Inc. <http://www.bittorrent.com/>

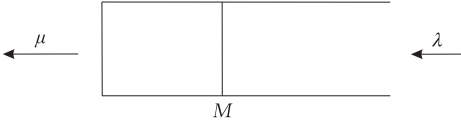


图2 简化排队模型

队列长度为 0 表示节点获取的货币单位已满; 队列长度为  $0 \sim M-1$  时表示节点至少拥有 1 个货币单位; 当队列长度  $\geq M$  时表示节点有请求到达时必须等待服务。

这个合成排队模型可用 M/M/1 模型求解, 队列长度为  $n$  的稳态概率为

$$P_n = \rho^n (1 - \rho),$$

其中,  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ 。

本文以一个请求到达获得服务的平均等待时间作为性能参数来进行系统性能分析。对于每个请求来说, 其等到获取货币的平均时间为

$$E_r[t] = \sum_{n=M}^{\infty} \frac{(n-M+1)}{\mu} P_n,$$

求解得到

$$\begin{aligned} E_r[t] &= \sum_{n=M}^{\infty} \frac{(n-M+1)}{\mu} P_n \\ &= \frac{1-\rho}{\mu} \sum_{n=M}^{\infty} (n-M+1) \rho^n = \frac{\rho^M}{\mu-\lambda}. \end{aligned}$$

## 4 加入无私节点后的模型分析

从上节排队模型求解得到的  $E_r(t)$  可知, 平均请求等待时间与请求到达速率  $\lambda$  以及节点提供服务的能力  $\mu$  密切相关。而服务能力  $\mu$  与节点自身的资源、网络拓扑相关, 因此会出现  $\mu < \lambda$  的情况, 导致  $E_r(t)$  为负, 这些节点仅靠自己的服务能力不足以应付其请求速率。如果网络中存在无私节点能够提供基本的服务保障, 便可以用来分担上述节点的请求, 从而提高网络的整体服务性能。

本节首先从单节点分析开始, 对理性节点的最佳请求分配比例和最小平均等待时间进行求解, 然后在假定的服务能力分布的基础上, 推导出系统全局的平均等待时间和请求比例分配, 最后分析了无私节点的比例和上述全局参数之间的约束关系。

### 4.1 单个节点分析

理性节点追求利益最大化, 此处则是使请求的平均等待时间最短。因为网络中存在无私节点, 理性节点可以将一部分服务提交给贡献节点, 另一部分通过自己的服务来满足。

本文分析  $M=0$  的情况, 即节点都很吝啬, 只是在自己有至少一个请求的情况下才开始提供服务来赚取货币, 此时  $E_r[t] = \frac{1}{\mu-\lambda}$ 。  $M>0$  时性能显然要优于这种情况。

假设无私节点提供的服务能力能够保证其请求的服务等待时间为  $T_c$ , 节点  $i$  的服务能力为  $\mu_i$ , 节点  $i$  通过自己的服务解决的请求比例为  $\alpha_i$ , 则有如下定理。

**定理 1.** 理性节点  $i$  以比例  $\alpha$  分配请求时, 达到请求平均等待时间最短:

$$\alpha = \begin{cases} 0, & \mu_l \geq \mu_i \geq 0 \\ \frac{\mu_i}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{\mu_i T_c}} \right), & \mu_h > \mu_i > \mu_l, \\ 1, & \mu_i \geq \mu_h \end{cases}$$

其中,  $\mu_l = \frac{1}{T_c}$ ,  $\mu_h = \lambda + \frac{1}{2T_c} + \sqrt{\frac{1}{4T_c^2} + \frac{\lambda}{T_c}}$ 。

证明。

请求比例分配为  $\alpha_i$  时, 节点  $i$  通过自己的服务能达到的平均等待时间为  $E_r[t] = \frac{1}{\mu_i - \alpha_i \lambda}$ , 而提交给无私节点的请求的平均等待时间为  $T_c$ , 则节点所有请求的平均等待时间为

$$T_i = \frac{\alpha_i}{\mu_i - \alpha_i \lambda} + (1 - \alpha_i) T_c \quad (1)$$

其中,  $\begin{cases} 0 \leq \alpha_i \leq 1 \\ \mu_i - \alpha_i \lambda > 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 0 \leq \alpha_i \leq 1 \\ \alpha_i < \frac{\mu_i}{\lambda} \end{cases}$ 。

为了使  $T_i$  最小, 对上式求导, 求出  $\alpha_i$  极值:

$$T'_i = \frac{1}{\left( \frac{\mu_i}{\alpha_M} - \lambda \right)^2} \times \frac{\mu_i}{\alpha_M^2} - T_c = \frac{\mu_i}{(\mu_i - \alpha_M \lambda)^2} - T_c = 0,$$

$$\alpha_M = \frac{\mu_i}{\lambda} \pm \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{\mu_i}{T_c}} = \frac{\mu_i}{\lambda} \left( 1 \pm \sqrt{\frac{1}{\mu_i T_c}} \right).$$

由上述约束条件可得

$$\alpha_M = \frac{\mu_i}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{\mu_i T_c}} \right) \quad (2)$$

容易证明, 式(2)条件下  $T'_i > 0$ , 因此  $T_i$  在此处取得极小值, 并且当  $\alpha_i \leq \alpha_M$  时,  $T_i$  单调递减; 当  $\alpha_M \leq \alpha_i < \frac{\mu_i}{\lambda}$  时,  $T_i$  单调递增。

分析式(2)可知,

(1)  $\alpha_M$  在  $\mu_i = \frac{1}{4T_c}$  时取极小值, 在  $\mu_i < \frac{1}{4T_c}$  时单调递减, 在  $\mu_i > \frac{1}{4T_c}$  时单调递增;

(2) 在  $\mu_i = \mu_l = \frac{1}{T_c}$  和  $\mu_i = 0$  时,  $\alpha_M = 0$ ; 在  $\mu_i = \mu_h = \lambda + \frac{1}{2T_c} + \sqrt{\frac{1}{4T_c^2} + \frac{\lambda}{T_c}}$  时,  $\alpha_M = 1$ .

结合约束条件, 可以确定使式(1)达到最小时  $\alpha$  的取值:

(1)  $\mu_i \in [0, \mu_l]$  时, 有  $\alpha_M \leq 0$ ,  $T_i$  在  $\alpha = 0$  时取得最小值;

(2)  $\mu_i \in [\mu_l, \mu_h]$  时,  $\alpha_M$  的取值范围为  $[0, 1]$ ,  $T_i$  在  $\alpha = \alpha_M$  时取得最小值;

(3)  $\mu_i \in (\mu_h, +\infty)$  时, 有  $\alpha_M > 1$ ,  $T_i$  在  $\alpha = 1$  时取得最小值.

整理上述分析便可得到定理结论. 证毕.

根据定理 1, 可以进一步得出节点  $i$  请求的最短平均等待时间. 将定理 1 中的  $\alpha$  值代入式(1)中, 整理可得

$$T_i = \begin{cases} T_c, & \mu_l \geq \mu_i \geq 0 \\ \frac{1}{\lambda}(\lambda T_c - (\sqrt{\mu_i T_c} - 1)^2), & \mu_h > \mu_i > \mu_l \\ \frac{1}{\mu_i - \lambda}, & \mu_i \geq \mu_h \end{cases}$$

从上述分析可以看出, 理性节点并不会将所有请求都提交给无私节点而导致堵塞, 而是根据自己的服务能力  $\mu_i$  选择最佳的分配比例  $\alpha$ , 使自己的请求等待时间最短. 所有节点都遵循这个原则, 此时系统到达一个均衡点.

4.2 服务能力模型

前面提到,  $\mu_i$  是节点获取请求的速率, 它与网络的资源查找算法、网络拓扑以及节点拥有的资源等因素密切相关, 同时也和请求数量比例相关. 本文假设  $\mu_i$  为均匀分布, 更复杂的分布情况将是我们的后续研究方向.

设  $\mu$  为节点的最大服务能力, 则节点服务能力分布的密度函数为

$$f(\mu_i) = \begin{cases} \frac{1}{\mu}, & \mu \geq \mu_i \geq 0 \\ 0, & \mu_i > \mu \end{cases}$$

4.3 系统性能参数

结合单结点请求分配函数和最短请求平均等待时间函数以及服务能力的分布, 可以求解出对应的两个系统统计性能参数: 平均等待时间和请求分配比例, 从而可以从宏观角度来定量研究无私节点对系统的影响.

(1) 平均等待时间  $E(T)$

$$\begin{aligned} E(T) &= \int_0^\infty T_i f(\mu_i) d\mu_i \\ &= \frac{1}{\mu} \left[ 1 + \int_{\mu_l}^{\mu_h} \frac{1}{\lambda} (\lambda T_c - (\sqrt{\mu_i T_c} - 1)^2) d\mu_i + \int_{\mu_h}^\mu \frac{1}{\mu_i - \lambda} d\mu_i \right] \\ &= \frac{1}{\mu} \left[ 1 + \left( T_c - \frac{1}{\lambda} \right) (\mu_h - \mu_l) + \frac{1}{\lambda} \left( \frac{4}{3} \sqrt{T_c} (\mu_h^{\frac{3}{2}} - \mu_l^{\frac{3}{2}}) - \frac{T_c}{2} (\mu_h^2 - \mu_l^2) \right) + \ln \left( \frac{\mu - \lambda}{\mu_h - \lambda} \right) \right] \end{aligned} \tag{3}$$

(2) 提交给无私节点的请求比例  $E(\theta)$

$$\begin{aligned} E(\theta) &= 1 - \int_0^\infty \alpha_i f(\mu_i) d\mu_i \\ &= 1 - \frac{1}{\mu} \left[ \int_{\mu_l}^{\mu_h} \frac{\mu_i}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{\mu_i T_c}} \right) d\mu_i + \int_{\mu_h}^\mu d\mu_i \right] \\ &= \frac{2}{3\lambda\mu\sqrt{T_c}} (\mu_h^{\frac{3}{2}} - \mu_l^{\frac{3}{2}}) - \frac{1}{2\lambda\mu} (\mu_h^2 - \mu_l^2) + \frac{\mu_h}{\mu} \end{aligned} \tag{4}$$

由定理 1 和服务分布为均匀分布假设容易通过求导分析得出  $E(T)$  和  $E(\theta)$  有如下性质.

**性质 1.**  $E(T)$  随  $T_c$  单调递增,  $E(\theta)$  随  $T_c$  单调递减.

4.4 无私节点比例

下面分析提供保障服务时间  $T_c$  所需要的无私节点比例.

假设无私节点平均服务能力为  $\mu$ , 网络总节点数为  $N$ , 无私节点比例为  $\gamma$ , 提交给无私节点的请求比例为  $E(\theta)$ , 并假设请求到达和服务时间服从指数分布. 利用排队论理论分析, 请求平均等待时间  $T_c$  为

$$T_c = \frac{\frac{E(\theta)N\lambda}{\gamma N\mu}}{\gamma N\mu - E(\theta)N\lambda} = \frac{\frac{E(\theta)\rho}{\gamma}}{N\mu(\gamma - E(\theta)\rho)}.$$

求解无私节点比例  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{E(\theta)\rho}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4}{NE(\theta)\lambda T_c}} \right).$$

当网络规模很大 ( $N$  很大) 时, 上式简化为  $\gamma \approx E(\theta)\rho$ .

$\gamma$  微小增加可能导致  $T_c$  快速减小, 但由性质 1 可知会引起  $E(\theta)$  增加, 从而又使  $T_c$  增大, 因此  $T_c$  也是一个均衡值, 由  $E(\theta)$  和  $\gamma$  确定.

对于实际网络应用, 在  $\lambda$  和  $\mu$  确定时, 结合  $E(T)$ ,  $E(\theta)$  和  $\gamma$  的表达式, 可对系统性能做近似分析, 进而对系统优化提供一定理论参考:

(1) 若要获得保障服务时间  $T_c$ , 可根据  $E(\theta)$  和  $\gamma$  估算所需无私节点的比例;

(2) 若存在比例为  $\gamma$  的无私节点, 可根据  $\gamma$  的表

达式估算请求分配比例  $E(\theta)$ ，进一步求解最低保障服务时间  $T_c$ ，最后通过  $E(T)$  来估算请求平均等待时间。

5 示例与性能比较

5.1 示例

假设在 P2P 文件共享应用中，文件平均大小为 1MByte，节点平均每 50s 发起一次下载请求，节点处理下载请求的服务能力受限于网络带宽，设节点的最大网络带宽为 1MB/s。

根据假设有  $\lambda = \frac{1}{50}$ ， $\mu = 1$ 。代入式 (3) 和式 (4)，可得出系统平均等待时间和提交给无私节点的请求比例的关系式。

$$E(T) = 1 + (T_c - 50)(\mu_h - \mu_l) + \frac{200}{3} \frac{\sqrt{T_c}}{3} (\mu_h^{\frac{3}{2}} - \mu_l^{\frac{3}{2}}) - 25T_c(\mu_h^2 - \mu_l^2) + \ln \frac{49}{50\mu_h - 1},$$

$$E(\theta) = \frac{100}{3\sqrt{T_c}} (\mu_h^{\frac{3}{2}} - \mu_l^{\frac{3}{2}}) - 25(\mu_h^2 - \mu_l^2) + \mu_h.$$

其中， $\mu_l = \frac{1}{T_c}$ ， $\mu_h = \frac{1}{50} + \frac{1}{2T_c} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2T_c}{25}}\right)$ 。

图 3 给出了两个性能参数曲线图。实线和左边纵坐标为平均等待时间  $E(T)$  随  $T_c$  变化的曲线；虚线和右边纵坐标为提交给无私节点的请求比例  $E(\theta)$  随  $T_c$  变化的曲线。

可以看出：(1)  $E(\theta)$  随  $T_c$  单调增， $E(T)$  随  $T_c$  单调减；(2) 当  $T_c > 20$ s 时，90% 以上的请求由节点赢得货币完成，提交给无私节点的请求比例较少，因此曲线较平坦；(3) 当  $T_c < 5$ s 时，提交给无私节点的请求迅速增加，系统平均等待时间也迅速降低，此时无私节点的服务能力也需要迅速提升。

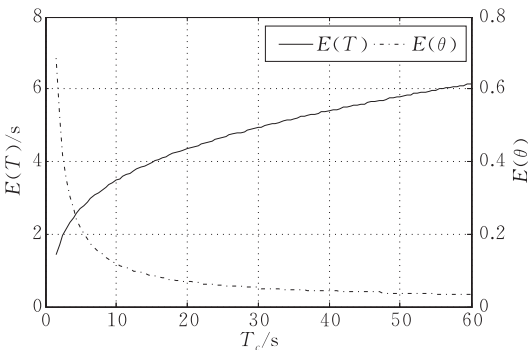


图 3  $E(T)$  和  $E(\theta)$  与服务保障时间  $T_c$  关系图

5.2 性能比较

5.2.1 与无支付机制网络性能的比较

就本示例而言，要保证请求平均等待时间  $T_c \leq$

60s，在无支付机制网络中，所有请求提交给无私节点， $E(\theta) = 1$ ，需无私节点比例  $\gamma \approx 2\%$ ；而如图 3，在采用支付机制网络中仅需  $2\% \times 0.033 \approx 0.66\%$  的无私节点便能保证，且请求平均等待时间约为 6s；如果  $T_c \leq 5$ s，所需无私节点比例为 4.4%，请求平均等待时间约为 2.7s。因此基于支付机制应用中加入少量无私节点，便能有效减少请求平均等待时间，并且有效降低对无私节点的依赖程度。

5.2.2 与采用支付机制但没有无私节点网络性能的比较

为便于比较，定义没有无私节点的情况时  $T_c$  为节点请求忍耐时间。此时节点请求的平均等待时间为

$$T_i = \frac{1}{\mu_i - \alpha\lambda},$$

其中， $\alpha$  表示节点服务能力能够保证  $T_i < T_c$  条件的最大请求比例，则  $1 - \alpha$  为丢弃请求的比例。分析可知：(1)  $\alpha = 0$  时，有  $T_c = \frac{1}{\mu_l}$ ，当  $\mu_i \leq \mu_l$ ，节点请求无法获得等待时间不超过  $T_c$  的服务；(2)  $\alpha = 1$ ，有  $T_c = \frac{1}{\mu_h - \lambda}$ ，当  $\mu_i \geq \mu_l$ ，节点所有请求获得服务；(3) 当  $\mu_h \geq \mu_i \geq \mu_l$  时， $\alpha = \frac{1}{\lambda} \left(\mu_i - \frac{1}{T_c}\right)$ ，比例为  $\alpha$  的请求能获得等待时间不超过  $T_c$  的服务。综合分析，可以得出没有无私节点时请求平均等待时间  $E(T)_N$  和丢弃的请求比例  $E(\theta)_N$  的表达式：

$$E(T)_N = \frac{1}{\mu - \frac{1}{T_c}} \left[ \frac{\lambda T_c}{2} + \ln(T_c(\mu - \lambda)) \right],$$

$$E(\theta)_N = \frac{\lambda}{2\mu} + \frac{1}{\mu T_c}.$$

图 4 为有和没有无私节点时的比较结果。实线表示加入无私节点的情况，虚线表示没有无私节点

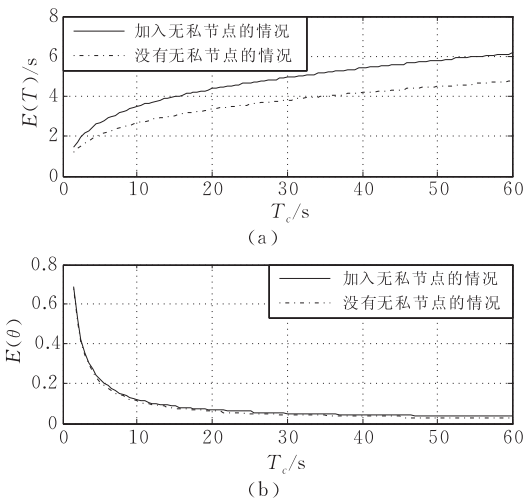


图 4 有和没有无私节点时  $E(T)$  和  $E(\theta)$  的对比

的情况. 图(a)为请求平均等待时间  $E(T)$  和  $E(T)_N$  的比较图, 图(b)为提交给无私节点的请求比例  $E(\theta)$  和丢弃比例  $E(\theta)_N$  的比较图.

对比可知, (1)  $E(\theta)$  和  $E(\theta)_N$  曲线基本重合, 说明提交给无私节点的请求比例和没有无私节点时被丢弃的请求比例大致相等, 而理性节点为获得最少的平均等待时间, 将更多些请求提交给无私节点, 因此  $E(\theta)$  曲线略高; (2)  $E(T)$  略大于  $E(T)_N$ , 因为计算平均等待时间时, 前者为所有请求等待时间的平均, 而后者计算时不计入被丢弃请求的平均等待时间.

因此可以看出: 通过引入少量无私节点, 在平均等待时间增加不多时, 能使所有请求都获得有保障的服务, 而不丢弃任何请求, 从而提高网络应用的可用性.

6 结论和后续工作

针对现有基于支付机制的 P2P 资源共享应用中存在节点获得服务能力不均衡的问题, 本文提出了引入无私节点提供基本服务保障的改进思路. 通过采用排队论理论进行建模, 着重分析了系统中请求平均等待时间、请求分配比例和最低服务保障时间之间的函数关系以及和无私节点比例的关系, 对基于支付机制的系统性能分析和系统优化有一定的指导意义. 最后通过示例说明了方法的有效性.

后续的工作是采用更接近网络应用特点的服务分布取代均匀分布的假设来分析系统性能以及研究节点最大货币单元  $M$  对系统性能的影响.

参 考 文 献

[1] Hughes D, Coulson G, Walkerdine J. Free riding on Gnutella revisited: The bell tolls? IEEE Distributed System Online,

2005, 6(6): 1-18  
[2] Hardin G. The tragedy of the commons. Science, 1968, 162 (3859): 1243-1248  
[3] Kamvar S D, Schlosser M T, Garcia-Molina H. The eigen-trust algorithm for reputation management in P2P networks//Proceedings of the 12th International World Wide Web Conference, WWW2003. Budapest, Hungary, ACM, 2003; 640-651  
[4] Xiong Li, Liu Ling. Peertrust: Supporting reputation-based trust for Peer-to-Peer electronic communities. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(7): 843-857  
[5] Song S, Hwang K, Zhou R, Kwok Y K. Trusted P2P transactions with fuzzy reputation aggregation. IEEE Internet Computing, 2005, 9(6): 24-34  
[6] Douceur J R. The Sybil Attack//Proceedings of the 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems, IPTPS 2002. LNCS 2429. Cambridge, MA, USA, Springer, 2002; 251-260  
[7] Vishnumurthy V, Chandrakumar S, Sirer E G. KARMA: A secure economic framework for Peer-to-Peer resource sharing//Proceedings of the 1st Workshop on Economics of P2P Systems, P2PEcon 2003. Berkeley, California, USA, 2003; 1-6  
[8] Friedman E J, Halpern J Y, Kash I A. Efficiency and nash equilibria in a scrip system for P2P networks//Proceedings of the 7th ACM Conference on Electronic Commerce, EC-2006. Ann Arbor, Michigan, USA, 2006; 140-149  
[9] Ma Richard T B, Lee Sam C M, Lui John C S, Yau David K Y. A game theoretic approach to provide incentive and service differentiation in P2P networks//Proceedings of the International Conference on Measurements and Modeling of Computer Systems, SIGMETRICS 2004. New York, NY, USA, 2004; 189-198  
[10] Lin Chuang. Performance Evaluation of Computer Networks and Computer Systems. Beijing: Tsinghua University Press, 2001(in Chinese)  
(林闯. 计算机网络和计算机系统的性能评价. 北京: 清华大学出版社, 2001)



PENG Dong-Sheng, born in 1975, Ph. D. candidate. His current research interests include trust management and network security.

LIN Chuang, born in 1948, Ph. D. , professor, Ph. D. supervisor. His current research interests include computer networks, performance evaluation, logic reasoning, and Petri-net theory together with its applications.

LIU Wei-Dong, born in 1968, Ph. D. , associate professor. His current research interests include grid computing and network QoS.

Background

This work is supported in part by the National Natural Science Foundation of China under grant No. 90412012, and

the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under grant No. 2006CB708301.

This paper focuses on the payment-based incentive mechanism for P2P application and its performance analysis and optimization. "Free-riding" is the most common malicious behavior in P2P applications which degrades the availability of such systems greatly. Incentive mechanism is an effective countermeasure to this problem which encourages end users to share their resources in exchange for better services from others. Distributed payment mechanism, which imitates the economic behaviors in our social lives, is widely studied because of the similarity between P2P network and social network. Most of the related research works focus on implicating payment mechanism into the distributed P2P environment and eliminating its inherent defects such as deflation and inflation. Little literatures concerned with the performance

analysis of the payment mechanism.

Research interests of this group include QoS and performance evaluation of computer networks. In this paper, the authors model and analyze the performance of payment mechanism based P2P application using queuing theory. As to the disadvantage that the user's ability to earn money is unbalanced such that some users can hardly get services, the authors introduce some altruistic nodes to provide the guaranteed services. The performance improvement is analyzed. Parameters of average request waiting time, percentage of the requests served by altruistic nodes and ratio of the altruistic nodes are formulated, which can be used as guidelines to the system performance evaluation and optimization.