

# 网格环境中基于信任团体的差别定价策略

张瑞<sup>1,2</sup>, 杨寿保<sup>2</sup>, 路卫娜<sup>2</sup>, 申凯<sup>2</sup>, 郭良敏<sup>2</sup>

(1. 安徽大学工商管理学院, 安徽合肥 230039; 2. 中国科学技术大学计算机科学与技术学院, 安徽合肥 230027)

**摘要:** 资源定价策略是网格市场中的一个重要问题, 传统的定价策略没有对具有不同信誉的资源消费者提供不同的价格, 无法激励交易实体为其他节点提供诚实服务. 通过分析资源消费者与资源提供者间的信任关系对定价的影响, 提出了一种基于信任团体的差别定价策略. 资源消费者分为两类: 信任团体内和信任团体外的, 资源提供者对两类消费者采用不同的定价方式. 由于差别是基于节点间的信任关系的, 这就激励节点提供诚实服务. 分析和仿真实验表明, 差别定价策略能有效提高资源交易成功率、降低节点获得服务需要支付的平均费用.

**关键词:** 网格市场; 信任团体; 差别定价

**中图分类号:** TP393      **文献标识码:** A      doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2010.01.016

## Trust group-based differential pricing strategy in grid environment

ZHANG Rui<sup>1,2</sup>, YANG Shoubao<sup>2</sup>, LU Weina<sup>2</sup>, SHEN Kai<sup>2</sup>, GUO Liangmin<sup>2</sup>

(1. School of the Business Administration, Anhui University, Hefei 230039, China;

2. Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

**Abstract:** How to price resources is an important problem in the grid market. Traditional price policies can't price differently for consumers with different reputation values, thus it has no incentive for users to provide honest services. A differential pricing strategy based on trust group was presented by analyzing the impact of trust relationship between consumer and provider on price strategy. Resource consumers are divided into two categories: nodes in a trust group and nodes out of the trust group. Resource providers charge different types of nodes different prices. Since the differentiation is based on the trust relationship, it encourages nodes to provide trustable information/services. Analysis and simulation results show that the differential pricing strategy can improve the success rate of transactions and reduce the average cost payable by nodes for the services.

**Key words:** grid market; trust group; differential pricing

## 0 引言

在网格环境中, 节点既可以是资源提供者(下简称提供者), 也可以是资源消费者(下简称消费者),

节点间的信任关系会影响节点的资源定价策略. 在网格计算市场模型下, 进行资源交易需经过以下步骤: 提供者对资源进行定价并发布价格信息, 消费者根据价格选择相应的资源, 供需双方进行交易. 资源

收稿日期: 2008-03-26; 修回日期: 2008-05-29

基金项目: 国家自然科学基金(60673172, 60273041)和中国高技术研究发展(863)计划(2006AA01A110)资助.

作者简介: 张瑞, 女, 1977年生, 博士/讲师. 研究方向: 网格计算与对等网络. E-mail: zhangrui@mail.ustc.edu.cn

通讯作者: 杨寿保, 教授. E-mail: syang@ustc.edu.cn

的定价策略是影响交易能否正常进行及交易能否尽快完成的一个重要问题。在基于信任的网格环境中,提供者定价时应考虑信任关系对定价策略的影响。

网格计算市场中,原有的定价算法主要有如下几种:①针对供求关系的定价,包括集中式定价<sup>[1]</sup>和非集中定价<sup>[2-3]</sup>;②基于机器学习和控制理论的定价<sup>[4-5]</sup>;③基于博弈论的定价<sup>[6-7]</sup>;④基于拍卖市场的定价,如基于连续双向拍卖市场的自主定价策略<sup>[8]</sup>。这些定价策略大多未能有效区分诚实结点和恶意结点,不能有效激励节点提供诚实服务。文献<sup>[9]</sup>研究了提供者过去的信誉对其未来收取的费用的影响。

现实生活中,企业通常会为其信任的消费者提供更优惠的价格及更优质的服务(如会员卡,会员可以享受到会员价及积分等优惠,同时会员卡也为商家更有目的地销售提供参考)。相应的,消费者也通常会选择其信任的企业进行消费。交易双方的信任关系会影响企业的定价策略。本文分析了网格计算市场环境下的市场特征,发现其满足微观经济学中进行差别定价的基本条件。结合文献<sup>[10]</sup>中提出的信任团体的概念,提出了网格环境下基于信任团体的差别定价策略,激励节点提供诚实服务。

定价策略首先根据提供者与消费者之间的信任关系(即是否属于同一信任团体)来决定采取何种定价方法,也就是区分内部定价与外部定价。内部定价时,提供者无条件地接受消费者选择的价格。外部定价时,提供者根据对消费者所在信任团体的信任关系来选择适合的交易对象,然后交易双方进行价格协商,通过调整价格区间确定最终的交易价格。此定价策略有效提高了资源交易成功率,降低了节点获得服务所需支付的平均费用。

## 1 信任团体

### 1.1 信任和信誉值

信任是用户的一种主观感受。本文使用信誉值衡量用户对某个实体的信任程度。信誉值不是一个固定的值,而是一个与实体的行为相关的变化的值,仅仅定义在一个给定时间的特定上下文之上<sup>[11]</sup>。

一个实体可以从其他的实体来获得属于某一定实体的信息,并对该特定实体做出评判,根据它的信誉值决定是否使用该实体。

本文定义,信誉值是 $[-1, 1]$ 区间上的实数。诚实节点信誉值大于零,欺诈节点或坏节点的信誉值

小于零,信誉值等于零的节点无法分辨其诚实与否。

新节点进入市场时,信誉值为零。经过与其他节点的交易,根据交易结果修改其信誉值。当节点不为其他节点提供服务时,信誉值随时间递减。

### 1.2 信任团体

为提出基于信任团体的差别定价策略,我们采用文献<sup>[10]</sup>提出的基本假设:

①一个节点最多支持一种服务类别;

②每个节点有一个公私密钥对,存在某种机制能够可信地从节点的IP地址获得其公开密钥。

对于信任团体(trust group),本文定义为由支持不同服务类别、彼此信任的节点组成的集合。信任团体内的节点存在伙伴关系。

信任团体的建立根据参考文献<sup>[10]</sup>进行。系统初始状态,每个信誉值大于零的诚实节点单独组成一个信任团体。每个节点维持三个集合:已知的诚实节点集合  $Good_i$ , 已知的坏节点集合  $Bad_i$ , 信誉值等于零的节点集合  $\varphi_i$ 。允许某个节点  $P$  加入信任团体需满足: $P$  的信誉值大于零; $P$  不属于信任团体内任何节点的  $Bad_i$ ;  $P$  提供的服务类别与信任团体内的其他节点没有冲突。当有多个节点满足此条件时,信任团体允许信誉值最高的节点加入。

### 1.3 信任团体的交易及信誉值的变化

信任团体内的节点选择交易对象时,优先选择具有较高信誉的信任团体内的节点。提供了诚实服务后,伙伴节点向尽可能多的节点传递交易成功的信息。

交易不成功时,消费者向提供者发送抱怨信息。抱怨信息会降低提供者及所在信任团体的信誉,信誉的降低幅度与消费者的信誉成正比。如果消费者的信誉较低,则其对提供者及其所在信任团体的信誉影响较低;反之,影响较高。由于存在多种因素会导致节点提供不诚实的服务,如网络故障、突然掉电等,所以偶尔提供不诚实服务并不会导致节点被驱逐出信任团体。若节点  $P$  提供了多次不诚实的服务,信誉降到零以下,则认为它是欺诈节点,将其驱逐出信任团体。信任团体内各节点将  $P$  加入自己的  $Bad_i$ , 并向尽可能多的节点传递关于  $P$  被驱逐的消息。关于节点的正面、负面信息的传递均采用洪泛机制。

每次交易完成后节点及信任团体的信誉值如下变化:

$$Reputation\_new = \delta * Reputation\_old +$$

$$(1 - \delta) * \text{Reputation\_of\_consumer} \quad (1)$$

其中,  $\text{Reputation\_new}$  为提供者(或团体)新的信誉值,  $\text{Reputation\_old}$  为提供者(或团体)完成本次交易前的信誉值,  $\text{Reputation\_of\_consumer}$  为消费者(或团体)的信誉值,  $\delta$  是估计节点信誉值时节点过去的表现相比当前表现的重要性. 节点信誉值的变化不仅依赖于其自身的信誉值, 也依赖于服务对象的信誉值. 这就激励提供者向信誉较好的节点提供服务, 在一定程度上防止了欺诈行为.

## 2 基于信任团体的差别定价策略

### 2.1 定价和差别定价

基于计算市场模型分配网络资源的一个核心问题是如何为网络资源合理定价. 提供者通过为资源定价获取相应的利益, 消费者通过价格选择合适的资源. 价格是调节资源供求的杠杆, 合理的定价能在网络市场环境中调节资源的流动和走向, 优化资源分配.

在网格市场下, 提供者可以自主定价. 交易随时可能发生, 消费者和提供者都能自由地发起交易. 提供者根据信任关系将交易对象细分为信任团体内的节点和信任团体外的节点. 两类节点之间的交易价格不透明, 对资源的需求弹性不同.

网格市场的市场特征满足经济学理论中进行差别定价需要的三个条件: ①企业是价格的制定者而不是市场价格的接受者; ②企业可以对市场细分并且阻止套利; ③不同的细分市场对商品的需求弹性不同.

### 2.2 基于信任团体的差别定价

在基于信任团体的差别定价策略中, 提供者在选择交易对象时需要考虑价格因素和信任因素. 提供者根据信任情况进行差别定价, 即针对信任团体内的节点和信任团体外的节点采取不同的定价方式, 区分内部定价与外部定价.

提供者根据消费者的 QoS 需求(完成时间 Deadline、预算 Budget), 在定价函数

$$\text{Price\_range} = [\phi(\min \text{Deadline}, \min \text{Budget}), \phi(\max \text{Deadline}, \max \text{Budget})] \quad (2)$$

的指导下给出可选的价格区间, 向消费者传递有关服务质量的信息. 采用价格区间的主要原因是: 虽然提供者提供的资源是特定类别的, 但其服务质量可以有差别的. 这种情形类似于现实生活中不同的消费者在某个商店购买同一类型的产品或服务. 由

于消费者期望的服务质量不同, 期望得到的效用不同, 商店可对不同的消费者收取不同的价格. 消费者在选择商店时根据商店提供的产品或服务的价格区间来选择在哪个商店消费, 而商品或服务的最终价格由商店和消费者通过协商来确定. 同时为了吸引新用户, 提供者限定了资源的最高价格.

#### (I) 内部定价

消费者根据自己的 QoS 需求在价格区间中选择一个价格, 提供者无条件地接受此价格, 完成内部定价.

当有多个节点向提供者请求资源时, 提供者会优先为信任团体外的节点服务. 当某种资源空闲且没有信任团体外的节点请求该资源时, 提供者会为信任团体内部的节点提供服务.

当信任团体内的节点无法满足消费者的需求时, 消费者就向信任团体外的节点请求资源.

#### (II) 外部定价

提供者首先会根据对消费者所在信任团体的信任关系决定是否交易. 如, 分别属于 A、B 信任团体的 a 节点和 b 节点同时向 C 信任团体中的 c 节点请求资源, c 节点首先比较 A、B 两个信任团体的信誉值, 若 A 信任团体的信誉值较高, 则 c 节点就会认为与 a 节点进行交易会比与 b 节点进行交易更能提高自身信誉值, 所以 c 节点就会选择与 a 节点进行交易. 确定了交易关系后, 交易双方进行价格协商. 价格协商过程见图 1.

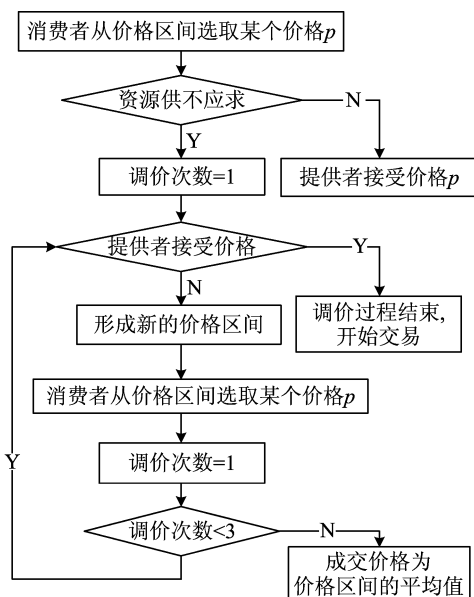


图 1 交易双方的价格协商过程

Fig. 1 The process of price negotiation

消费者根据自己的 QoS 需求从价格区间里选择某个价格  $p$ , 提供者根据当前系统内该资源的供求状况决定是否接受此价格. 资源供不应求时, 提供者为了获得较大的收益, 期望以较高的价格出售该资源 (在决定价格时此因素占比重  $\omega$ ,  $\omega$  根据以往交易的经验确定). 同时又考虑到消费者是其信任的团体中的节点 (在决定价格时此因素占比重为  $1-\omega$ ), 为了能以较大概率完成此次交易, 提供者根据  $p$  和自己的期望价格  $p'$  进行折衷, 形成新的价格:

$$\text{New\_price} = (1-\omega) * p + \omega * p' \quad (3)$$

提供者形成新的价格区间即  $[p, \text{New\_price}]$ , 同时降低自己的期望价格至  $\text{New\_price}$ . 消费者在新的价格区间里重新选择一个价格  $p$ . 如果提供者接受此价格, 则价格协商过程结束, 进行交易; 否则, 继续价格协商.

通常经过三次协商后, 交易双方都能接受某个价格, 价格协商过程结束.

若经过三次调价后交易双方未达成一致, 则使用价格区间的平均值作为成交价格.

为了加快调价过程, 使供需双方尽快达成交易, 降低调价过程消耗的网络资源, 限定了价格协商不超过三个回合. 三个回合的限定是基于现实生活中消费者购买商品时的价格协商过程确定的. 这种价格调整过程可以通过构造李亚普诺夫能量函数的方法证明其收敛, 并且其收敛速度很快<sup>[12]</sup>.

### 2.3 差别定价策略对交易的影响

提供者通过消费者选择的价格了解消费者的期望, 消费者也通过提供者降低期望价格的幅度了解提供者的期望, 调价过程在一定程度上消除了信息不对称.

提供者正在向用户提供资源时, 如果有其他用户请求相同资源, 若资源有剩余, 则提供者根据当前资源使用状况及上述定价机制进行交易. 当没有用户在使用资源, 提供者就广告其最低价格, 吸引新用户参与交易.

采用外部定价时, 首先出价的一方有先行者优势. 为了避免因出价顺序不同而导致的成交价格的变化, 我们只考虑在每一轮的出价中, 参与者首先出价与随后出价的时间间隔趋向于 0, 这样便消除了先行者优势对最终价格的影响.

当消费者对计算资源的需求远大于提供者提供的资源时, 网格计算市场就为卖方市场, 此时提供者干预价格的能力较强. 如果资源的供应超过用户对

资源的需求, 则为买方市场, 消费者干预价格的能力较强<sup>[7]</sup>. 基于信任团体的差别定价策略适应上述两种市场环境. 处于卖方市场时, 提供者按本文提出的策略进行定价; 处于买方市场时, 提供者为了吸引用户与其交易, 依据资源供需状况调低资源价格, 仍然可以按本文提出的策略进行定价.

新加入市场的用户信誉值为零, 在与其他信誉值较高的用户竞争资源时会出现需求不能及时得到满足、需要长期排队等候的现象. 在新用户提供了服务后信誉值会根据公式(1)更新, 为用户参与以后的资源竞争提供保证. 若新用户只是消费者, 则需采取以下方法来吸引新用户的参与, 保证市场健康发展.

新用户每次请求资源时系统为其分配一个随机数  $k$ . 当  $k$  位于区间  $[0, 1]$  时, 无论其竞争对手的信誉值如何, 提供者优先为此新用户提供资源. 当  $k$  位于区间  $[-1, 0]$  时, 新用户需再次请求资源直到产生的随机数位于区间  $[0, 1]$  时为止. 交易成功后, 提供者的信誉值根据公式(1)进行更新. 为了降低新用户对提供者信誉值的影响, 新用户信誉值的第一次更新用  $c * k$  来计算, 其中  $c$  是一个很小的正常数, 具体值由系统根据新用户在市场中所占比例确定.

交易成功完成后, 提供者及其所在信任团体的信誉依据公式(1)进行更新. 伙伴节点向尽可能多的节点分发交易成功信息, 吸引更多的节点与本信任团体进行交易, 最终提高信任团体及信任团体内节点的信誉.

## 3 模拟结果与分析

### 3.1 模拟环境设置

为分析基于信任团体的差别定价策略的性能, 在 GridSim 模拟器<sup>[13]</sup>中进行了模拟实验. 模拟环境如下设置:

(I) 网格环境中存在 200 个节点, 资源种类为 10, 需要处理的任务数为 500, 资源和任务按均匀分布随机分配.

(II) 新节点的信誉值随机地在  $[-1, 1]$  之间产生. 信誉值大于零的为诚实节点, 信誉值小于零的为欺诈节点或坏节点, 信誉值等于零的为新用户.

(III) 初始时所有诚实节点都属于某个信任团体, 欺诈节点不属于任何信任团体, 但是欺诈节点可以通过在一段时间内提供诚实服务来加入信任团体. 欺诈节点在加入了信任团体之后就不再提供诚实服务.

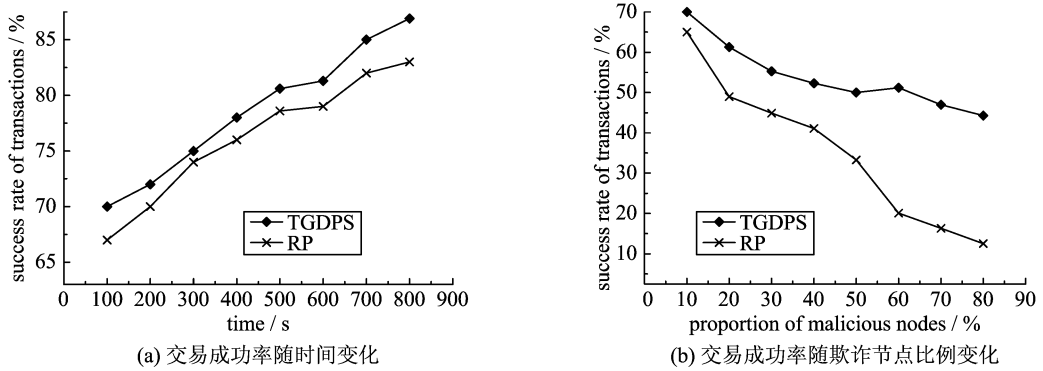


图 2 系统中不存在和存在不同程度的欺诈节点时, TGDPS 和 RP 交易成功率的比较

Fig. 2 Success rate of transactions comparison between TGDPS and RP when no and some malicious nodes exist

### 3.2 差别定价策略的模拟实验

为验证本定价策略的性能, 模拟实验时实现了两种定价策略: ①基于信任团体的差别定价策略; ②文献[9]中的定价策略 RP, RP 的主要思想是对不同质量的服务收取不同的费用, 预期的服务质量用前一天的信誉进行估计, 服务质量与费用的对应关系通过分析市场历史得到。

提供者根据用户 QoS 需求利用定价函数(4)来表示价格,  $r$  表示 Deadline 在决定价格因素时所占的比重, 此处选择  $r=0.6$ . 实际应用时,  $r$  的值可根据实际情况选择. 其他如主机处理能力、网络带宽、通信延迟等参数利用 GridSim 模拟器中的 API 随机生成。

$$\phi(\text{Deadline}, \text{Budget}) = r * \text{Deadline} + (1 - r) * \text{Budget} \quad (4)$$

### 3.3 实验结果分析

比较本定价策略 (trust group-based differential pricing strategy, TGDPS) 与文献[9]中的定价策略: ①不存在欺诈节点时及存在不同规模的欺诈节点时达到的交易成功率, 交易成功率用公式(5)进行计算; ②假设系统中存在 20% 的欺诈节点, 诚实节点获得服务时所需支付的平均费用, 平均费用用公式(6)计算。

$$\text{Success\_rate\_of\_transactions} = \frac{\text{Number\_of\_success\_transactions}}{\text{Number\_of\_total\_transactions}} \quad (5)$$

$$\text{Average\_cost} = \frac{\text{Total\_cost\_of\_transactions}}{\text{Total\_number\_of\_transactions}} \quad (6)$$

图 2 描述了系统中存在不同程度的欺诈节点时, 交易成功率的变化情况. 由图 2 可以看出, 当系

统中不存在欺诈节点时, 本定价策略和文献[9]中的 RP 策略相比, 交易成功率没有明显的优势. 当系统中存在不同规模的欺诈节点时, 在系统开始交易的初期, 由于信任团体还没有完全建立, 系统较难分辨诚实节点和欺诈节点, 所以本定价策略和 RP 的性能均有下降, 且 RP 的性能下降较快. 随着交易量的增多, 信任团体逐渐建立, 欺诈节点被分辨出来, 本定价策略的性能逐渐回升, 而 RP 的性能受欺诈节点的影响较大, 尤其当系统中欺诈节点的数目达到 50% 时, RP 的交易成功率降低到 30% 左右。

图 3 描述了当系统中存在 20% 的欺诈节点时, 节点获得服务所需支付的平均费用的变化. 在系统交易的初期, 欺诈节点还未从系统中分辨出来, 在一定程度上影响到诚实节点的信誉, 所以使用差别定价策略达成交易的价格与使用 RP 定价策略时的价格相比差别不大. 但是, 随着交易信息的增多, 欺诈节点逐渐被分辨出来, 并被排除出交易市场, 诚实节点获得服务时所需支付的平均费用相对稳定变化,

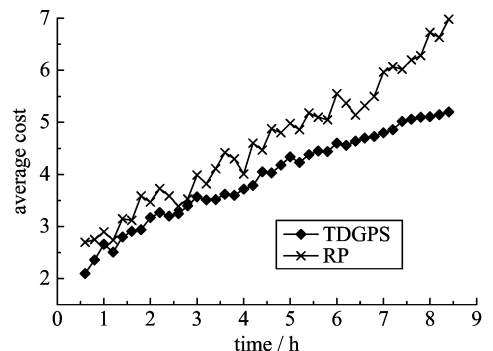


图 3 系统中存在 20% 的欺诈节点时, 诚实节点获得服务所需支付平均费用随时间的变化

Fig. 3 Average cost that honest nodes pay for services when there are 20% malicious nodes

低于采用 RP 定价策略时的平均费用。

## 4 结论

通过研究节点间的信任关系对资源定价策略的影响,提出了基于信任团体的差别定价策略,在定价时充分考虑了信任关系对价格的影响。从模拟结果可以看到,当系统中存在欺诈节点时,差别定价策略能有效提高资源的交易成功率,降低诚实节点获得服务所需支付的费用。

建立信任团体时假定一个节点只提供一种类型的服务,而现实情况是一个节点可能会提供多种类型的服务,在后续的工作中将会研究此情况下信任团体的建立及相应的定价策略。当不同的消费者所在的信任团体信誉相同时,提供者如何选择交易对象也是后续工作需要考虑的问题。在不同的市场环境下,提供者与消费者之间的博弈关系也是需要进一步研究的问题。

### 参考文献(References)

- [1] Subramoniam K, Maheswaran M, Toulouse M. Towards a micro-economic model for resource allocation in grid computing systems [C] // Proceedings of IEEE CCEC 2002: Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. New York: IEEE, 2002:782-785.
- [2] Chen Ming, Yang Guangwen, Liu Xuezheng. Grid market: A practical, efficient market balancing resource for Grid and P2P computing [C]// Lecture Notes in Computer Science: Vol 3033. Berlin, Germany: Springer-verlag Berlin, 2004: 612-619.
- [3] Zhang Yu, Lin Li, Huai Jinpeng, et al. A resource allocation mechanism providing trust and incentive in grid[J]. Journal of Software, 2006, 17(11): 2 245-2 254.  
张煜,林莉,怀进鹏,等. 网格环境中信任-激励相容的资源分配机制[J]. 软件学报. 2006, 17(11): 2 245-2 254.
- [4] Wang Weihong, Li Baochun. Market-based self-optimization for autonomic service overlay networks [J]. IEEE. Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(12): 2 320-2 332.
- [5] Wang W, Li B. Market-driven bandwidth allocation in selfish overlay networks [C]//Proceedings of IEEE INFOCOM 2005: The Conference on Computer Communications. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Soc, 2005: 2 578-2 589.
- [6] Ji Z, Yu W, Liu K J R. An optimal dynamic pricing framework for autonomous mobile ad hoc networks [C]//Proceedings of IEEE INFOCOM 2006: 25th IEEE International Conference on Computer Communications. New York: IEEE, 2006: 313-324.
- [7] 于君国. 计算市场中的资源定价机制研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2006.
- [8] Yang Jin, Yang Shoubao, Li Maosheng, et al. An autonomous pricing strategy toward market economy in computational grids [C]//Proceedings of ITCC 2005: International Conference on Information Technology: Coding and Computing. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Soc, 2005: 793-794.
- [9] Jurca R, Faltings B. Reputation-based pricing of P2P services [C]//Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems. New York: ACM, 2005: 144-149.
- [10] Gupta R, Somani A K. Reputation management framework and its use as currency in large-scale peer-to-peer networks [C]//Proceedings of Fourth International Conference on Peer-to-Peer Computing. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Soc, 2004, 124-132.
- [11] Azzedin F, Maheswaran M. Toward trust-aware resource management in grid system [C]//Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Soc, 2002: 452-457.
- [12] 张金水. 数理经济学: 理论与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [13] Sulistio A, Poduval G, Buyya R, et al. On incorporating differentiated levels of network service into GridSim [J]. Future Generation Computer Systems, 2007, 23(4): 606-615.