

网格资源交易过程中的自主定价策略^{*})

杨 锦 杨寿保 陈东锋 李茂盛 付前飞

(中国科学技术大学计算机科学技术系 合肥230026)

摘 要 基于计算市场的网格系统资源分配的一个关键步骤是对资源的合理定价,本文给出了一种新的在每次交易过程中由买卖双方自主确定价格的方法。这种定价方法与现实生活中的商品交易更相近。与现有的其他定价策略相比,该策略是一种分布式的定价方案,与分布式资源分配的要求相适应。此外定价与交易相结合,价格仅由交易双方制定,且仅限于本次交易中有效,使得这种定价更加灵活,也更能充分适应网格资源的实时变化。

关键词 网格,资源分配,定价策略

The Autonomous Pricing Scheme during Grid Resource Trading Process

YANG Jin YANG Shou-Bao CHEN Dong-Feng LI Mao-Sheng FU Qian-Fei

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

Abstract One of the key processes in computing-market based grid resource allocation is to make reasonable prices for all the resources. This article presents a new method that leaves the prices to be decided only by the two traders within the trading process. In this way, the trading process will be more similar to the real commodity trading process in practical life. Comparing with the other pricing schemes, this method is a distributed one, and is able to adapt to the requirements of distributed resource allocation. What's more, such pricing scheme is much more deft, and could be expected to get along well with the distributed real-time changeable grid environment for its inherent features that the pricing process is combined with the trading process, the decision-makers of the price are the traders who carry out the process, and the price is effective within the trading process only.

Keywords Grid, Resource allocation, Pricing scheme

1 引言

在计算网格系统中,可用的计算资源如CPU、磁盘空间、内存空间、网络带宽等会随时间不断变化,而用户对这些资源的需求也会动态变化,因而这些资源的价格也会随供求的变化而实时变化。怎样为资源定价是网格资源交易中最关键的步骤,现有的各种定价策略一般是在一个时间段以内,根据供求关系为某一商品集中统一地定死价格,然后所有的交易都按该价格完成。这类算法的缺点是:需要集中式的价格服务器来计算价格,当交易资源达到一定数量时服务器将进入性能瓶颈,很难保证系统的分布性和稳定性;另外时间段的划分与影响价格的各因素的实时变化不相适应,很难保证在某个时间段以内所有的因素都恒定不变,从而很难保证定价的合理性。

在实际的交易中即使是相同的商品在同一时刻、不同的交易对象之间也会以不同的价格成交;只有一个交易成功后,才能确定指出此次交易的商品价格是多少。正是基于此,我们将定价和交易结合起来考虑,“交易即定价”,提出了一种针对单次交易的定价策略。具体地说,将考虑影响价格的因素,为买卖双方各制定一套交易流程,在每次交易中由双方按自己的利益和实际情况自主为商品定价并完成交易,而不是人为地指定按某个价格进行交易。我们只制定标准,不直接制定价

格,这样做将使价格能够随着网格环境的实时动态变化而变化并且将使定价过程摆脱集中的价格服务器的影响;更重要的是,自主定价策略将有助于网格资源的分配从传统的集中调度、集中分配走向分布式资源分配。

为了更清楚地介绍交易过程中自主定价的策略,本文第2节介绍与资源分配相关的工作;第3节讨论交易中定价的具体过程和相关的策略;第4节是对该策略的模拟试验结果;最后是总结。

2 相关工作

J. Nabrzyski 等人在文[1]中,提出了使用商业方式分配网格资源的基本结构,无论是对这种分配方式的特点还是该方式的整个分层体系都作了相应的介绍,强调了用户决策的重要性,但是对具体的资源定价方式未加详细定量讨论。

Subramoniam 等在文[2]中提出了使用拍卖算法来分配资源,在考虑定价算法时,作者将供求平衡价格作为某商品的固定价格,所有的交易必须按此统一价格进行,然而由于供求始终在变化,这种定价方法不具有实时性,在具体运作时不可能准确反映当时的供求关系,不可能达到供求平衡的本意。

文[3]在考虑资源分配时,加入了对资源拥有者诚信度的量化考虑,并针对资源消费者和资源拥有者各自的利益进行了深入的分析,但是却没有量化双方的利益函数,使双方的决

^{*})本文得到国家自然科学基金项目(编号60273041)和国家863计划(编号2002AA104560)的资助。杨 锦 硕士研究生,主要研究方向为网格计算;杨寿保 教授,博士生导师,主要研究方向为网格计算、信息安全与密码学;陈东锋 硕士研究生,主要研究方向为网格计算;李茂盛 博士研究生,主要研究方向为网格计算;付前飞 博士研究生,主要研究方向为网格计算。

策依据依然模糊不清。

以上的这些资源定价工作建立了利用市场手段进行定价的基本概念和框架,为实现以市场的方式分配网络资源奠定了基础,但是在具体的定价过程中仍以集中式定价为主。价格的制定完全依赖集中的价格服务器;一旦定下价格,所有的交易都必须按此进行,不利于反映网格中资源供求的时时变化,因而在此基础上的网格资源分配并不能真正实现经济生活中的采用自由市场进行资源分配的自发性与合理性等优点。本文针对这些问题给出了一种在交易过程中由买卖双方自主定价的策略,量化了生产者和消费者进行出价和决策时的依据,给出了较完整可行的交易定价流程,使得交易和定价过程更加接近于现实市场中的定价,模拟试验还表明这种交易价格随着交易时间的增加能够逐渐趋于稳定。

3 自主定价交易过程

本节主要讨论的是在连续双向拍卖市场中,生产者(资源的提供者)、消费者(资源的使用者)在交易过程中的报价和决策过程。在连续双向拍卖市场中出清是连续的,交易随时都有可能发生,无论买方或卖方的订单进入市场,市场就进行价格匹配、执行交易,每一笔交易的成交价格可能都不相同,市场平衡是在动态中建立的。可见这种市场使买卖双方都能自由地发起交易,有利于资源的有效流动,并完全符合网格系统中资源流动随机和连续的特点。

在这里市场的作用是为生产者和消费者提供交易所需信息(主要是资源供给和需求的信息),使得进行交易所需的信息对生产者和消费者而言都是透明的,但是资源的分配和调度将由买卖双方自主决策,市场中不再有集中的资源调度者。

一次完整的交易由发起方进入市场开始,无论是生产者还是消费者,都要先调用自己的决策过程主动匹配市场中的已有资源,如果匹配失败则把自己的信息写入市场等待其他对象进入市场后再进行被动匹配。若某一时刻的市场中资源的供给与需求情况如表1和表2,以消费者发起的交易为例,其交易流程如图1。

表1 资源供给表

项目 序号	出价 $P_j (\$g)$	提供资源时间 $Fin_j (sec)$	过去交易成功 次数 SUC_j	过去交易总 数 TOT_j
生产者1	527	50	14	17
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
生产者j	672	21	2	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
生产者n	496	70	49	55

表2 资源需求表

项目 序号	出价 $P_j (\$g)$	资源需求量 (slot)	过去交易成功 次数 SUC_j	过去交易总 数 TOT_j
消费者1	454	2100	33	46
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
消费者j	723	480	5	9
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
消费者n	556	600	129	178

由于价格仅由交易双方确定,定价过程和价格有效期也只限于一次交易过程之内,使定价具有更大的灵活性和适应性。相应地,我们研究的重点也将从如何制定集中统一的价格交由交易者执行转向为研究交易者的竞价策略和决策策略。

我们将针对消费者发起、生产者发起两种不同的情况找出基于各方利益的出价和决策决定因素,并讨论报价和决策过程如何在交易中帮助形成价格和完成资源分配。

3.1 消费者发起的交易

消费者发起的交易由消费者进入市场开始,在其离开市场时结束。若网格中的一台机器因为要完成某项工作而向网格申请资源时,将进入市场,并按照图1的流程进行。我们在下文中给出的是消费者依据其自身利益的出价和决策策略。

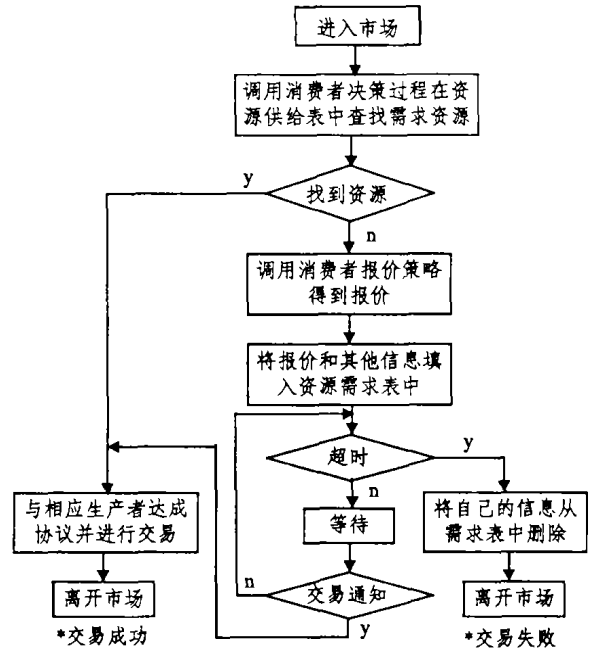


图1 消费者发起的交易过程

3.1.1 消费者决策过程 进入市场之后,消费者首先判断现有资源中是否有符合自己需要的资源,然后在需要的资源报价集中选择合适的报价,在这个决策过程中有几个因素需要考虑,包括:生产者的报价、资源提供时间和生产者兑现合同的能力等等,为此需要对所有的生产者进行优先分析,以找出最有能力的资源提供者来达成协议。在这里设当时的资源供给表中列出的消费者所需资源集合用 I 来表示,其中的第 j 个生产者的优先级用 PRI_j 来表示,根据层次分析(AHP)的基本原理^[4,5],综合出价、完成任务的时间和生产者交易历史3个因素,使用下面的公式可以计算 PRI_j ,

$$PRI_j = [\alpha \times (1 \cdot \frac{P_j}{\sum_{i \in I} P_i / |I|}) + (1 - \alpha) \times \frac{SUC_j}{TOT_j}] \times FIN_j$$

其中, P_j 是第 j 个生产者的报价, SUC_j 是第 j 个生产者在过去的交易中按要求完成任务的次数,而 TOT_j 则是其在过去交易的总数, α 是根据消费者自定义的权重,表示不同的消费者对信誉和报价的重视程度, FIN_j 是分段函数,用来判断生产者是否符合消费者的时间要求:

$$FIN_j = \begin{cases} 1 & TIME_j \leq deadline \\ 0 & TIME_j > deadline \end{cases}$$

$TIME_j$ 是生产者 j 答复的完成时间, $deadline$ 则是消费者给出的完成任务的最后期限。消费者将选择 PRI_j 值最大的生产者作为资源的提供者达成协议。

3.1.2 消费者出价 消费者当然希望用最低的价格获得所需资源,但是另一方面,他需要考虑网格中其他消费者对同类资源的需求和出价情况,如果自己的出价过低就很可能得不到所需资源。这就要求消费者在出价时具有一定的策略性,以保证能够以相对较低价获得较高质量的服务。与经济

生活中的出价相类似,消费者将依据自己过去购买同类商品的经验结合当时市场的供求状况和自己的承受能力出价:

$$price = experience_price * D-S$$

其中, $experience_price$ 是消费者根据以往交易的经验得出的对本次交易的估价,可以利用多项式拟合的方式得到这个估计值,如果消费者以前没有做过该商品的交易, $experience_price$ 将取消费者预算值的一半,这个值表示消费者对过去交易情况的利用;而 $D-S$ 则是本次交易时的实际供求情况,可以根据资源供给表和资源需求表中数据,用如下分段函数来计算:

$$D-S = \begin{cases} 1 & demand \leq supply \\ \frac{demand}{supply} & demand > supply, \frac{demand}{supply} < 2 \\ 2 & demand > supply, \frac{demand}{supply} \geq 2 \end{cases}$$

其中, $supply$ 是当时市场的产品供应量,而 $demand$ 是市场中对同类产品的需求量。

可见消费者的出价 $price$ 在时间上既考虑了代表过去的交易经验又考虑了本次交易的实际情况。在得到这个出价之后,消费者还要比较 $price$ 和自己的现金支付能力(如果消费者同时对多个商品进行出价,则比较 $price$ 和某特定商品的预算金额),如果 $price$ 大于承受能力,则只按预算的最大值出价。

3.2 生产者发起的交易

当网格中的一台机器发现自己有资源空闲并希望出售这些资源来换回一定的电子货币时,就可以进入市场,此后的交易过程与消费者发动的交易过程类似,先在已有的市场信息中找到对自己资源的需求,调用决策过程找到相应的消费者,与之达成协议并执行;如果生产者未找到合适的协议对象,则调用出价过程将自己的信息写入资源供给表中,转入等待消费者的被动调用阶段。与消费者发动的交易不同的是:生产者在决策时可以向一组消费者提供服务,而在出价时需要考虑自己的成本限制。

3.2.1 生产者的决策 生产者在决策时将在消费者候选集 Ω 中选择利益最大的交易,同时生产者也需要考虑自身的资源提供能力。如果提供者盲目的与超出自己供应能力的消费者或者恶意地与大量消费者达成无法完成的协议将会直接影响到自己交易的成功率,进而影响到自己的下一次交易的信誉值。因而生产者在选择交易时也需要在追求短期利益和影响长期利益的交易成功率之间找到平衡。提供者将执行如下过程挑选合适的消费者:

1. 生产者首先对候选集 Ω 的所有元素 a 进行检查,挑选出所有可以完成的交易 a' 进入候选集 Ω'

2. 对 Ω' 中每个元素 a' , 按照如下原则找到其最大相容子集 Ω_a 。

若 $\Omega_a = \{a_1, a_2 \dots a_n\}$, 则 $res_{a_1} + res_{a_2} + \dots + res_{a_n} \leq Res_limit$

其中 res_{a_n} 是交易 a_n 所要求提供的资源数量,而 Res_limit 是生产者所能提供的资源总量,且集合 Ω_a 不是任何其他相容集的子集。

3. 计算每种资源搭配的获利值

$$Profit_i = \sum_{a_n \in \Omega_i} profit_{a_n}$$

4. 比较各个最大相容子集的 $Profit_i$ 值,找出第 x 组,使得 $Profit_x = \max(Profit_i)$ 。

在执行完以上步骤之后,生产者就得到了一组适合交易的消费者,随后该生产者通知该组中相应的消费者达成并执行协议。

3.2.2 生产者报价 生产者的报价要在追求最大获利的同时考虑消费者的承受能力,若不顾实际而为自己的资源报出天价则很有可能造成无消费者购买资源、浪费资源的情况。因而,生产者在报价时也需要根据以往的经验、市场当时的供求情况来定价,与消费者出价不同的是,生产者还要考虑成本问题,不能无限制地降低资源价格来换回资源的出售。综合这些因素,生产者将按照下列公式给出报价:

$$price = experience_price * S-D$$

其中,生产者的经验值 $experience_price$ 是与生产者本身相关的数据,每个生产者的值均不同,与消费者相同,该经验值计算也将采用多项式拟合的方法在过去交易的基础上预测本次交易计算,如果生产者是第一次出售该资源,则 $experience_price = 2 * cost$, $cost$ 是生产者生产该产品的成本。 $S-D$ 是分段函数:

$$S-D = \begin{cases} 1 & supply \leq demand \\ \frac{demand}{supply} & supply > demand; \frac{demand}{supply} \geq 1/2 \\ 1/2 & supply > demand; \frac{demand}{supply} < 1/2 \end{cases}$$

其中, $supply$ 和 $demand$ 分别表示市场中对该产品的供求量。在计算得到 $price$ 后,同样需要比较其与 $cost$ 的大小,如果 $price$ 小于 $cost$,说明按此出价生产者将遭受损失,此时生产者还将按照 $cost$ 出价。

与消费者报价相同,生产者报价也是对自身的交易经验和市场当时的供求情况综合考虑的结果,无论是生产者还是消费者的报价都将随着供求比的提高而在经验报价的基础上有所下调,也即在资源供应大于需求时,交易双方都将在其经验报价的基础上按比例减少报价,而在资源供应小于需求时,双方的报价和出价会相应提高,这种报价和出价策略符合经济生活中价格起伏的规律,使价格能够成为调节资源供求的杠杆。

4 模拟实验与结果分析

我们使用自己的市场模拟器针对 CPU 单种资源的定价算法进行了初步的模拟,希望能够检验生产者和消费者根据自身的经验和市场当时的供求进行的自主出价是否能达到稳定;更重要的是要考察成交价格的稳定性。在进行实验时我们所做的主要假设和简化有:

1. 信息透明,不考虑网格中的各种特殊情况,比如各种会造成网格中信息不通的软硬件问题。

2. 我们对所有的机器一次性付给足够的货币,中间不再追加货币,但是在每次交易中限定个人能使用的最高货币量(最高预算),确保不让某台机器因为无资金而不能进行交易,同时杜绝恶意的高价竞标行为。

3. 对生产者和消费者而言,其进入市场的到达率分别满足平均值为 μ 和 λ 的泊松分布,这两个值在每次初始化时随机生成。

4. 生产者的资源供给量,单位成本和消费者的资源需求量是随机产生的,在一个足够大的市场中,各种各样的交易者都会出现,因而这种假设是有合理性的。

5. 为了方便计算,在利用过去的交易经验计算时我们选择最近的5次交易记录来预测本次出价。

基于上述的假设,在市场模拟器中我们模拟了10000个时间单位的CPU交易情况。图2是生产者根据个人以往的交易经验和当时市场的供求情况进行的出价。可以发现生产者开始的出价较为保守,因为刚开始生产者并没有多少交易经验可以参考,而且市场信息中的资源需求也不多,因而生产者会以略高于成本的低价报价,随着交易经验的丰富和市场的活跃,生产者的报价会逐步上升并接近一个稳定值。

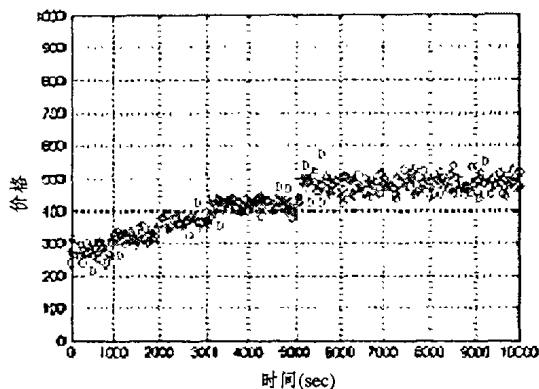


图2 生产者对CPU出价

同理,图3显示消费者在开始时出较高的价格进行试探而后其出价也趋向合理的稳定值,且生产者出价的稳定值略小于消费者的稳定值,这是交易成功的前提。

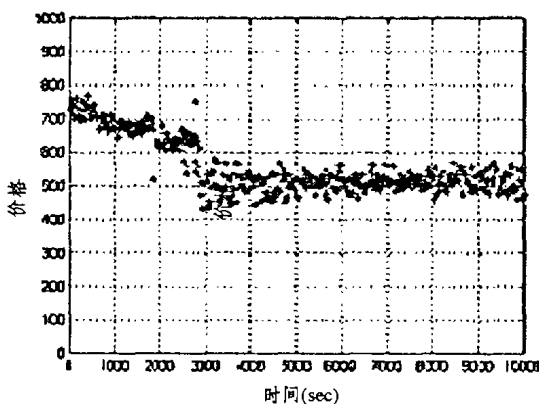


图3 消费者对CPU出价

图4是成交价格表,与出价表不同,这是每次交易成功后得到的价格,不再仅仅是交易双方的出价和报价意向,可以看见开始同样因为此时买方和卖方都不成熟,这个值的变化幅度相当大,随着买卖双方的报价和出价趋于稳定,成交价格也渐渐趋于稳定。

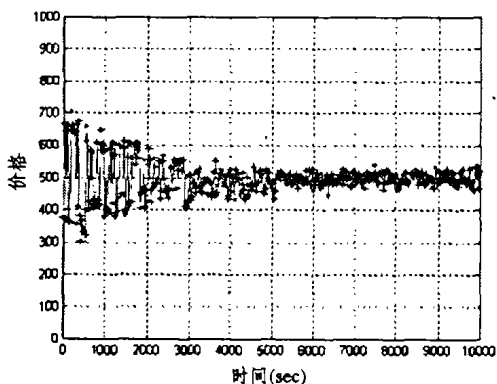


图4 CPU成交价格

价格均衡实验表明,自主定价策略能够较好地符合 walras 的局部均衡的理论:即在市场中的其他条件不变时,市场商品的需求和供给是其本身价格的函数的情况下,CPU 的交易可以在市场供求力量的自发调节下形成均衡价格。

此外,我们还模拟对比了采用集中式定价策略和采用自主定价策略的系统的几个服务性能,包括使用两种不同策略时系统中平均等候的消费者数、消费者等待交易所需要的时间、消费者在系统中的平均逗留时间。实验表明,使用自主定价策略能够有效地缩短由集中匹配式定价带来的交易延时从而提高交易的效率。实验结果见表3和表4。

表3 服务性能比较(任务到达满足均值为20的泊松分布)

$\delta=0$	系统中平均等候消费者数	完成交易等待时间	交易者平均逗留时间
自主竞价	2.2983×10^{-7}	1.1492×10^{-8}	0.0141
集中匹配	0.0705	0.0035	0.0152

表4 服务性能比较(任务到达满足均值为42的泊松分布)

$\delta=42$	系统中平均等候消费者数	完成交易等待时间	交易者平均逗留时间
自主竞价	1.7042×10^{-5}	4.0577×10^{-7}	0.0192
集中匹配	0.4662	0.0111	0.0227

结论 本文给出了网格市场中一种新的资源交易定价策略,不同于已有的固定资源单价的定价方法的是,该策略将资源的价格与交易过程联系起来,将重点放在买卖双方的竞价策略和交易决策的研究上,使得在每次的交易当中资源价格都能充分适应买卖双方的利益。由于该策略的执行,因此定价过程只受买卖双方影响使得定价具有灵活和很好的适应性,另外,分布式的定价过程也更有利于实现分布式的资源分配。我们今后将着重探讨在网格中多种资源相互关联的情况下如何完善自主定价策略以达到市场一般均衡的目标。

参考文献

- 1 Nabrzycki J, Schopf J, Weglarz J, Kluwer. Grid Resource Management; State of the Art and Research Issues. 2003
- 2 Subramoniam K, Maheswaran M, Toulouse M. Towards a Micro-Economic Model for Resource Allocation in Grid Computing Systems. In: Proc. Canadian Conf. on Electrical & Computer Engineering, 2002
- 3 Sample N, Keyani P, Wiederhold G. Scheduling Under Uncertainty: Planning for the Ubiquitous Grid
- 4 <http://marketing.wiwi.uni-karlsruhe.de/kaiman/kaiman/ahp/index.xml>
- 5 <http://mat.gsia.cmu.edu/mstc/multiple/node4.html>
- 6 Chen C, Maheswaran M, Toulouse M. Supporting co-allocation in an auctioning based resource allocator for Grid systems. In: 11th IEEE Heterogeneous Computing Workshop (HCW 2002), Apr. 2002
- 7 Cheng Q, Wellman P. The WALRAS algorithm: A convergent distributed implementation of general equilibrium outcomes. Computational Economics, 1998, 12: 1~24
- 8 Ferguson D F, Nikolaou C, Sairamesh J, Yemini Y. Economic models for allocating resources in computer systems. Market-Based Control: A Paradigm for Distributed Resource Allocation, Scott Clearwater. World Scientific, Hong Kong, 1996
- 9 Wolski R, Plank J S, Brevik J, Bryan T. G-commerce: Market formulations controlling resource allocation on the computational Grid. In: International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), Apr. 2001