

基于双向拍卖的适应性云计算资源分配机制

丁丁, 罗四维, 艾丽华

(北京交通大学 计算机与信息技术学院, 北京 100044)

摘要: 基于经济机制中的双向拍卖模型, 提出了一种适应性的云计算资源分配机制 ADAM(adaptive double auction mechanism)。与传统的双向拍卖策略相比, ADAM 把交易的价格和交易的数量看成是市场参与者的服务质量要求, 并据此进行交易, 保证了市场参与者的收益; 而且, ADAM 根据资源不同的供求关系应用不同的拍卖规则, 能够满足更多的市场参与者。理论分析表明, 即使在请求价格和请求数量均为保密信息的强约束条件下, ADAM 仍然具有策略性防伪、预算平衡和个人理性的特点。模拟实验也进一步证明, ADAM 能够显著提高用户满意度和云计算系统的资源利用率, 并且随着市场参与者数量的增加, ADAM 的经济效率也在不断提高, 有利于实现云计算大规模资源共享的目标。

关键词: 云计算; 资源分配; 双向拍卖; 适应性

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)Z1-0132-09

Adaptive double auction mechanism for cloud resource allocation

DING Ding, LUO Si-wei, AI Li-hua

(School of Computer and Information Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: By integrating the auction mechanism in economic field into cloud, an adaptive double auction mechanism(ADAM) was proposed to allocate resources in cloud computing. Compared to traditional double auction mechanisms, ADAM traded cloud resource sellers and cloud resource buyers at their expected price and quantity, guaranteed the profits of all participants. Moreover, ADAM applied different auction rules in different cases to satisfy as more participants as possible. As a new mechanism for cloud resource allocation, ADAM was proved to be strategy-proof, weakly budget-balanced and individual rational even under the conditions that the price and quantity of participants were private information. Simulation results also confirm that ADAM outperforms the traditional one on both cloud user satisfaction degree and cloud resource utilization rate and is also economically efficient, especially as more users are involved in the auction market.

Key words: cloud computing; resource allocation; double auction; adaptive

1 引言

随着网格计算、普适计算以及计算机通信技术的快速发展, 人们越来越希望能把资源、软件及应用更好地整合在一起, 并以服务的形式向外提供给

用户, 因此云计算应运而生^[1,2]。云计算的优势在于平台整合了大量资源, 并且可以按照用户的实际需求提供规模可变的资源^[3], 这给用户带来方便的同时, 也对资源分配和调度技术提出了更高的要求, 使得资源分配和任务调度成为云计算研究中的一

收稿日期: 2012-08-06

基金项目: 中央高等学校基本科研业务费专项课题基金资助项目(2011JBZ005, 2012JBM026); 博士点基金资助项目(20110009110032)

Foundation Items: The Fundamental Research Funds for the Central Universities (2011JBZ005, 2012JBM026); The Doctoral Fund of Ministry Education of China (20110009110032)

个热点与难点问题。

经济学中的市场机制能够充分激励和调动个体的积极性,在商品生产和交换中实现合理的社会资源配置,有效提高社会生产率^[4],而由各个高异构性和动态性节点构成的云计算环境与现实经济社会具有极大的相似性,借助经济学中相关概念和方法解决云计算环境中的资源管理具有可行性和优越性^[5,6]。目前,可以通过服务价格协商、出售服务以实现资源分配的经济模型包括商品市场模型、标价模型、议价模型、投标模型、按比例分配资源模型、拍卖模型、垄断模型等^[7~9]。由于拍卖模型对全局信息的需求较少,而且具有分布式的结构并易于实现,基于拍卖的资源分配引起了极大的关注。

最早把拍卖机制应用到资源分配中的工作可以追溯到 1968 年 Sutherland 针对于 PDP-1 机器中的研究^[10],随后被更多地应用于集群和分布式系统的负载均衡问题。然而,这些研究工作大多侧重于资源分配系统的实现,因此只采用了基本的拍卖策略,并没有对拍卖机制本身进行深入的研究。随着网格经济的出现,拍卖机制被广泛应用在网格的资源分配中^[11,12],并很快引起了重视。同以往的资源分配模型相比,基于拍卖机制的网格资源分配模型具有明显的优势,为云计算资源分配中拍卖机制的应用奠定了良好的研究基础。如今,针对云计算的特点,广大研究者也纷纷就基于拍卖机制的资源分配问题展开了一系列的研究。文献[13]提出的连续双向拍卖框架下基于纳什均衡的云资源分配策略以及文献[14]提出的连续双向拍卖框架下基于知识的云资源分配策略,都能够满足云计算环境下资源的有效分配。文献[15]则在连续双向拍卖的基础上提出了连续逆向拍卖,并将其成功应用在云计算环境下的资源分配中。文献[16]和文献[17]致力于在 CloudSim 中应用不同的拍卖机制以适应云计算环境下虚拟化资源的优化分配。另外,双向拍卖还被应用到 workflow 调度和资源协同分配中^[18]。然而,目前的云计算资源拍卖策略大多是直接使用经济学中已有的拍卖理论,以最大化买卖双方的经济效益为目标,忽略了资源利用率、资源性能、用户满意度等指标,具有一定的局限性。本文对基于经济机制的云计算资源分配问题进行进一步的研究,提出了一种基于双向拍卖的适应性云计算资源分配机制,在兼顾经济效益的同时提高用户满意度及云计

算系统的资源利用率。

2 拍卖市场框架

本文采用的拍卖市场框架如图 1 所示。在这个框架中,3 个主要的角色是云资源提供者 CRS (cloud resource seller)、云资源消费者 (cloud resource buyer) 和云资源拍卖师 (cloud resource auctioneer),分别采用卖方代理、买方代理和拍卖代理来代表卖方、买方和拍卖师参与市场中的拍卖交易。

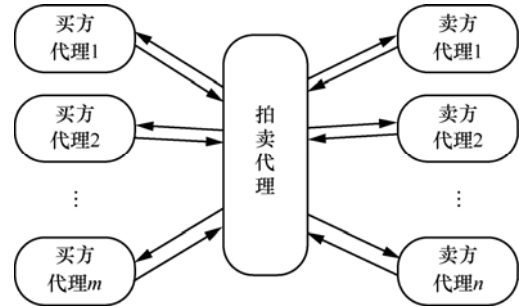


图 1 拍卖市场的基本框架

文中的拍卖市场采用离散时间拍卖模型,由拍卖代理以固定时间间隔组织双向拍卖。买方和卖方分别根据自身的需要通过买方代理和卖方代理向拍卖代理提出自己的交易请求(任何一个买方代理或者卖方代理都不知道其他代理的交易请求)。在收到来自于买方代理和卖方代理的交易请求后,拍卖代理根据某种双向拍卖规则确定成交的买方和卖方以及成交的商品数量和成交价格。最后,成交的买方和卖方分别根据最终确定的成交商品数量和成交价格完成系统的资源配置。

3 适应性双向拍卖机制

3.1 问题的提出

在上述的双向拍卖市场中,假设买方 i 想要购买的商品数量记为 D_i , 卖方 j 想要出售的商品数量记为 S_j 。买方 i 为购买单位商品所能支付的最高价格记为 r_{bi} , 卖方 j 为出售单位商品所能接受的最低价格记为 r_{sj} 。传统的多数量双向拍卖策略为了最大化整个市场的收益,即最大化所有成交者的收益之和,把商品需求量按照价格由高到低的顺序排列,把商品供应量按照价格由低到高的顺序排列,并尝试找到能够使得商品的供应数量和需求数量相等的竞争平衡 CE (competitive equilibrium) 价格 p^* 。一个典型的例子如图 2 所示。

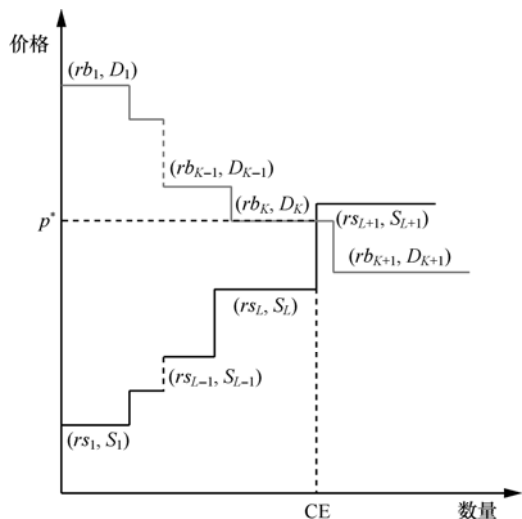


图 2 多数量双向拍卖市场中 K 个买方和 L 个卖方成功交易

从图 2 中可以看到竞争平衡价格 p^* 介于 rb_K 和 rs_L 之间（若二者相交为一线段，则择取其中点）。那么所有在 K 之前的买方和在 L 之前的卖方可以成功交易，并且所有商品的成交价格定为 p^* 。然而，这种拍卖策略存在以下几方面的不足。

1) 交易者的收益得不到明确的保证。由于竞争平衡价格由所有拍卖参与者共同决定，因此，在交易完成之前，无论是买方还是卖方都无法预测最终的交易价格，市场无法保证每一个交易者的收益。

2) 对于不同的卖方来说，它们获取商品的成本可能会有所不同，因此所期望的卖价不同。同理，相同的商品可能会给不同的买方创造不同的价值，因此不同的买方所期望的买价也会有差异。显然，传统拍卖策略的统一定价机制无法保证所有交易者对成交价格的满意度。

3) 为了最大化交易者的经济收益，传统的拍卖策略倾向于使出价和要价相差较大的买方和卖方成交，这会大大降低商品的成交量，导致较低的商品利用率。以图 2 为例，尽管存在一些买方的出价（如 rb_1 、 rb_2 、 \dots 、 rb_{K-1} ）在第 $L+1$ 个卖方的要价 rs_{L+1} 之上，但是第 $L+1$ 个卖方仍然不能成交。

由此可见，传统的拍卖策略并不适用于以服务用户为主要目的的云计算环境下的资源分配，为此，提出一种适应性双向拍卖机制，在保证用户不同服务质量要求的前提下，尽量满足更多的云计算用户，同时提高云计算系统的资源利用率。

3.2 适应性双向拍卖机制

3.2.1 定价策略

令 $B_i = (bp_i, bq_i)$ 表示买方的购买请求，其中，

bp_i 表示买方 i 购买单位资源的出价 (bidding price)， bq_i 表示买方 i 所需求资源的数量； $S_j = (sp_j, sq_j)$ 表示卖方的出售请求，其中， sp_j 表示卖方 j 出售单位资源的要价 (asking price)， sq_j 表示卖方 j 所出售资源的数量。在本文提出的适应性双向拍卖机制 ADAM (adaptive double auction mechanism) 中，拍卖市场把交易的价格和交易的数量看成是市场参与者的服务质量要求，并依据尽量满足的原则提供服务。因此，为保证市场参与者服务质量的要求，采用的定价策略如下。

买方 i 的出价 bp_i 等于买方 i 使用单位资源所能创造的价值 cv_i 减去买方 i 所期望的收益 pb_i ；那么如果买方 i 能够成功交易，收益如式 (1) 所示。

$$pb_i = (cv_i - bp_i)bq_i \quad (1)$$

卖方 j 的要价 sp_j 等于卖方 j 向市场提供单位资源所需的成本 hc_j 加上卖方 j 所期望的收益 ps_j 。如果卖方 j 能够成功交易，收益如式 (2) 所示。

$$ps_j = (sp_j - hc_j)sq_j \quad (2)$$

这样，ADAM 按照每个市场参与者请求的价格和数量进行交易，一方面避免了买方即云计算用户对成交价格的不满，另一方面，也保证了卖方即资源提供者的收益。

3.2.2 分配策略

为了满足更多的市场参与者（包括买方和卖方），ADAM 根据资源不同的供求关系分 3 种情况应用不同的拍卖规则。

1) 供过于求的情况

供过于求的情况指的是拍卖市场中资源的供应量大于需求量。在这种情况下，把买方请求的资源需求量和卖方请求的资源供应量按照价格由高到低的顺序排列（为了减少交易的工作量，删除那些不可能成功交易的卖方请求，即要价高于所有买方出价的卖方请求），则供过于求时的买方卖方曲线如图 3 所示。

在图 3 中，存在一些买方曲线和卖方曲线的交叉点。将这些交叉点分为 2 类，称为上升交叉点 UCP (up-crossing point) 和下降交叉点 DCP (down-crossing point)。

① 上升交叉点：假设买方请求 B_K 与卖方请求 S_L 相交于某交叉点，当不等式 (3) 和不等式 (4) 成立时，该交叉点为上升交叉点

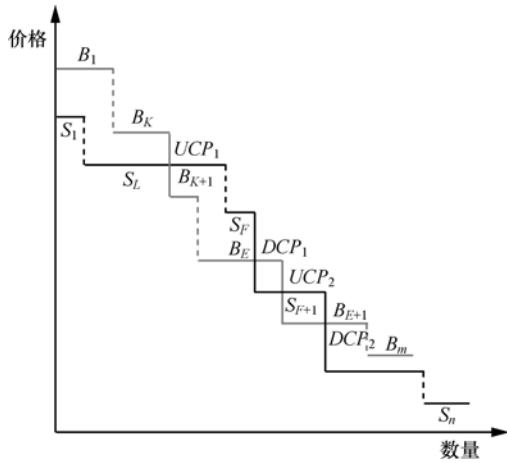


图 3 供过于求的情况

$$bp_{K+1} < sp_L < bp_K \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^L sq_j > \sum_{i=1}^K bq_i \quad (4)$$

上升交叉点意味着自该点之后，卖方的要价将高于买方的出价，因此，称 B_K 和 S_L 为上升关键请求。

② 下降交叉点：如果上升交叉点已经存在，假设买方请求 B_E 与卖方请求 S_F 也相交于某交叉点，当不等式 (5) 和不等式 (6) 成立时，该交叉点为下降交叉点

$$sp_{F+1} < bp_E < sp_F \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^E bq_i > \sum_{j=1}^F sq_j \quad (6)$$

下降交叉点意味着自该点之后，卖方的要价将低于买方的出价，因此，称 B_E 和 S_F 为下降关键请求。

在供过于求的情况下，采用的拍卖规则如图 4 所示。

在图 4 所示的拍卖规则中，do 循环 1)~5) 对上升交叉点和下降交叉点同时存在的情况进行处理。上升交叉点和下降交叉点同时存在即在上升交叉点和下降交叉点之间卖方请求的要价要高于这一区间的买方请求的出价，而这一部分的卖方请求是无法得到满足的，因此，通过找到第一上升交叉点和第一下降交叉点以及相应的关键请求来删除这些卖方请求。这样做的依据是因为在供过于求的情况下，资源的供应量大于资源的需求量，可以牺牲一些卖方请求来满足更多的买方请求。循环这个过程，直到不再同时出现上升交叉点和下降交叉点为止。上升交叉点与下降交叉点不同时存在的情况只有 2 种，一种是不再存在任何的上升交叉点，当然

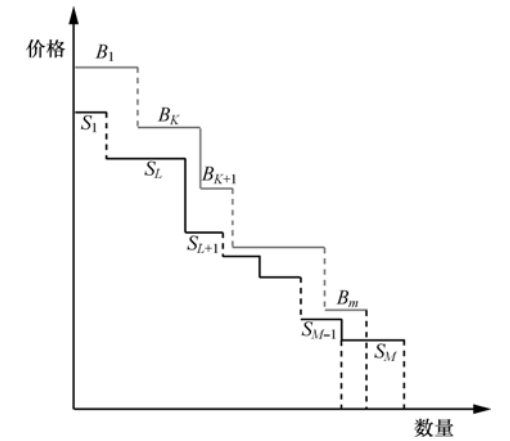
也就没有任何的下降交叉点；另外一种只是存在上升交叉点而不存在下降交叉点。

- 1) do until there is no up-crossing point or no down-crossing point
- 2) find out the first up-crossing point and down-crossing point and the corresponding critical requests S_L and S_F
- 3) delete the selling requests between S_L and S_F
- 4) rearrange all the left selling requests in the descending order of price
- 5) enddo
- 6) if there is no up-crossing point
- 7) if $\sum_{j=1}^{n'} sq_j \geq \sum_{i=1}^m bq_i$ then
- 8) find out S_M where $\sum_{j=1}^{M-1} sq_j \leq \sum_{i=1}^m bq_i \leq \sum_{j=1}^M sq_j$ ($2 \leq M \leq n'$)
- 9) B_i ($i \leq m$) buy all its quantity bq_i at bp_i
- 10) S_j ($j \leq M$) sell a quantity $sq_j \cdot (\sum_{i=1}^m bq_i / \sum_{j=1}^M sq_j)$ at sp_i
- 11) else
- 12) find out B_M where $\sum_{i=1}^{M-1} bq_i \leq \sum_{j=1}^{n'} sq_j \leq \sum_{i=1}^M bq_i$ ($2 \leq M \leq m$)
- 13) B_i ($i \leq M$) buy a quantity $bq_i \cdot (\sum_{j=1}^{n'} sq_j / \sum_{i=1}^M bq_i)$ at bp_i
- 14) S_j ($j \leq n'$) sell all its quantity sq_j at sp_i
- 15) endif
- 16) if there is only an up-crossing point but no down-crossing points
- 17) find out the corresponding critical requests B_K and S_L
- 18) if $\sum_{j=1}^{L-1} sq_j \geq \sum_{i=1}^{K-1} bq_i$ then
- 19) B_i ($i \leq K-1$) buy all its quantity bq_i at bp_i
- 20) S_j ($j \leq L-1$) sell a quantity $sq_j \cdot (\sum_{i=1}^{K-1} bq_i / \sum_{j=1}^{L-1} sq_j)$ at sp_i
- 21) else
- 22) B_i ($i \leq K-1$) buy a quantity $bq_i \cdot (\sum_{j=1}^{L-1} sq_j / \sum_{i=1}^{K-1} bq_i)$ at bp_i
- 23) S_j ($j \leq L-1$) sell all its quantity sq_j at sp_i
- 24) endif
- 25) endif

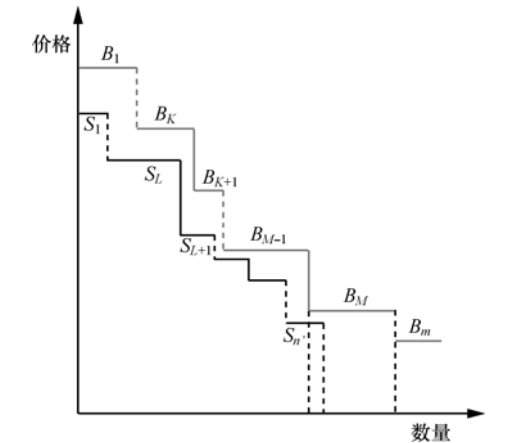
图 4 供过于求情况下的拍卖规则

不存在任何的上升交叉点的情况意味着所有卖方请求的要价都在所有的买方请求的出价之下，在第 6)~15) 步对其进行处理。在这种情况下，需要根据买方请求和卖方请求总体数量的不同找到可交易的买卖方请求。如果此时卖方请求出售的总体数量大于买方请求购买的总体数量（如图 5 (a) 所示），则找到出售的总体数量大于买方请求购买的总体数量，且与买方请求购买的总体数量最接近的边缘卖方请求 S_M ，这之前的所有买卖请求都可以成功交易。但为了避免出现卖方最终出售的总体数量大于买方最终购买的总体数量的现象，减少卖方请求出售的数量，使卖方最终出售的总体数量与买方

最终购买的总体数量相等。具体采用的策略是让所有交易的卖方请求按比例承担这部分减少的交易数量。事实上，当成交的卖方请求足够多时，对每一个卖方请求而言这种影响是可以忽略不计的。对于卖方请求出售的总体数量小于买方请求购买的总体数量的情况（如图 5（b）所示），同样需要找到相应的边缘买方请求 B_M ，这之前的所有买卖请求也都可以成功交易。但是在交易的数量上，需要考虑的是减少买方请求的购买数量，具体采用的策略是让所有交易的买方请求按比例承担这部分减少的交易数量。



(a) 卖方请求出售的总体数量大于买方请求购买的总体数量



(b) 卖方请求出售的总体数量小于买方请求购买的总体数量

图 5 不存在上升交叉点

只存在上升交叉点而不存在下降交叉点的情况表明在上升交叉点之前所有卖方请求的要价都在所有的买方请求的出价之下，在上升交叉点之后所有卖方请求的要价都在所有的买方请求的出价之上（如图 6 所示），显然，这部分卖方请求也是无法得到满足的。在第 16)~25)步对其进行处理。

在这种情况下，为了避免出现交易者所请求的交易资源量部分成交的现象，本文只对位于上升交叉点之前的 $K-1$ 个买方请求和 $L-1$ 个卖方进行交易。而如何决定这些成功交易的买卖双方请求的价格和数量的策略与不存在任何的上升交叉点的情况相同，这里不再赘述。

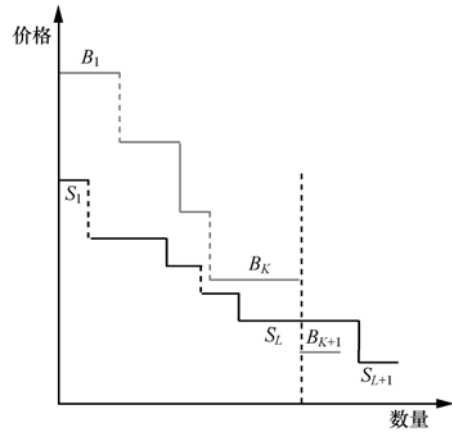


图 6 只存在上升交叉点不存在下降交叉点

2) 供不应求的情况

供不应求的情况指的是拍卖市场中资源的供应量小于需求量。与供过于求的情况不同，在供不应求的情况下，把买方请求的资源需求量和卖方请求的资源供应量按照价格由低到高的顺序排列，则供不应求时的买方卖方曲线如图 7 所示。

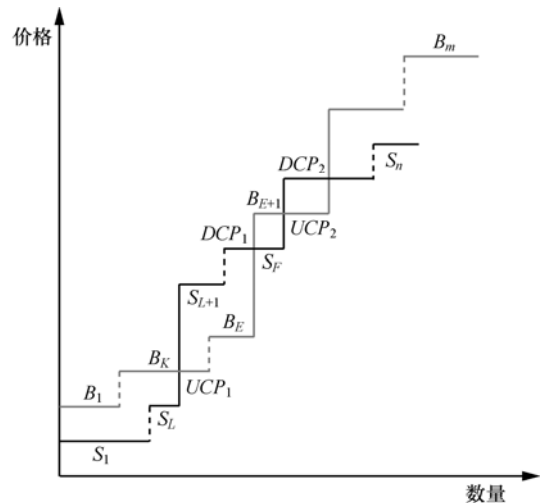


图 7 供不应求的情况

在图 7 中，同样存在一些买方曲线和卖方曲线的上升交叉点和下降交叉点。这些上升交叉点与下降交叉点的含义与供过于求的情况相同。

在供不应求的情况下，ADAM 采用的拍卖规则

与供过于求的情况类似，唯一不同的就是在供不应求的情况下，资源的需求量大于资源的供应量，因此，可以牺牲一些买方请求来满足更多的卖方请求，具体的拍卖规则这里不再详述。

3) 供求平衡的情况

供求平衡的情况指的是拍卖市场中资源的供应量等于需求量。对于这种情况分别采用供过于求和供不应求情况下的拍卖规则，哪种方法产生的交易量更大就采用哪种拍卖规则。

4 性能分析

一种有效的多数量双向拍卖机制应满足以下几个特点^[11]：策略性防伪（strategy-proof）、预算平衡（budget-balanced）和个人理性（individual rational）。可以证明，即使在买方请求和卖方请求的价格和数量均为保密信息的前提下，本文提出的适应性双向拍卖机制 ADAM 也满足这些特点。

性质 1 适应性双向拍卖机制 ADAM 是预算平衡的。

证明 在 ADAM 中，无论是供过于求的情况还是供不应求的情况，所有成功交易的卖方曲线都位于买方曲线之下。假设在拍卖中 M 个买方和 N 个卖方最终成交，可以得到式 (7)

$$\sum_{i=1}^M bp_i \cdot bq_i - \sum_{j=1}^N sp_j \cdot sq_j \geq 0 \quad (7)$$

即在 ADAM 下，所有市场参与者的支出和收入总和大于零，因此，适应性双向拍卖机制 ADAM 是弱预算平衡的。事实上，弱预算平衡对于拍卖机制来说更加适用，因为这一部分收益通常被市场经营者收取，作为管理市场的费用。显然，非负的收益恰恰反映了市场的存在。

性质 2 适应性双向拍卖机制 ADAM 是个人理性的。

证明 在 ADAM 中，按照每个市场参与者请求的价格和数量进行交易，因此，如果能够成功交易，市场参与者必然能够获得自己所期望的收益；如果不能参与交易，则该市场参与者的收益为 0。也就是说，所有市场参与者参与市场拍卖的收益为非负，因此，适应性双向拍卖机制 ADAM 是个人理性的。

性质 3 适应性拍卖机制 ADAM 对于每一个市场参与者的交易价格和交易数量都是策略性防伪的。

证明 假设在供过于求的情况下，卖方请求 S_L 为了获得更多的收益而谎报了自己的交易价格，而其他卖方请求保持交易价格不变。根据式 (2)，如果卖方请求 S_L 把自己的价格报高了 d ，那么它得到的收益为 $(sp_L + d - hc_L)sq_L$ ，获得了一个大小为 dsq_L 的额外收益。如果它继续提高自己的要价，最终把价格报高了一个量 e ，使得 $sp_L + e > bp_K$ （如图 8 所示），那么根据供过于求的拍卖规则它将被剥夺成功交易的机会，实际的收益为 0。因此，尽管通过报高要价可能获得额外的收益，但是在 ADAM 下对卖方代理来说这种谎报策略很难实现。这是由于交易代理之间关于交易请求是互相透明的，一个卖方代理根本不知道最终哪些请求会成功交易，更不用说出价刚好在自己要价之上的买方请求。因此一个卖方无法决定应该把价格谎报多少，而随机地报高价格反而会减少自己的收益。同样的证明过程也可应用于买方故意谎报自己出价的情况。因此，适应性双向拍卖机制 ADAM 对于每一个市场参与者的交易价格是策略性防伪的。

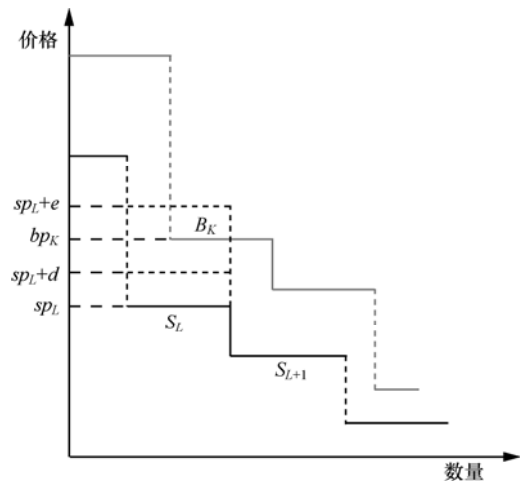


图 8 卖方 L 报高了交易价格，其他卖方保持不变

对于交易数量，同样在供过于求的情况下，卖方请求 S_F 为了获得更多的收益而谎报了自己的交易数量，而其他卖方请求保持交易数量不变。根据式(2)，如果卖方请求 S_F 把自己的数量报高了 d' ，那么它得到的收益为 $(sp_F - hc_F)(sq_F + d')$ ，获得了一个大小为 $(sp_F - hc_F)d'$ 的额外收益。如果它继续提高自己的交易数量，最终把数量报高了一个量 e' ，使得 $\sum_{j=1}^F sq_j + e' > \sum_{i=1}^E bq_i$ （如图 9 所示），那么根据

供过于求的拍卖规则它将被剥夺成功交易的机会，实际的收益为 0。因此，尽管通过报高交易数量可能获得额外的收益，但是在 ADAM 下对卖方代理来说这种谎报策略也很难实现（道理与谎报交易价格相同）。同样的证明过程也可应用于买方故意谎报自己交易数量的情况。因此，适应性双向拍卖机制 ADAM 对于每一个市场参与者的交易数量也是策略性防伪的。

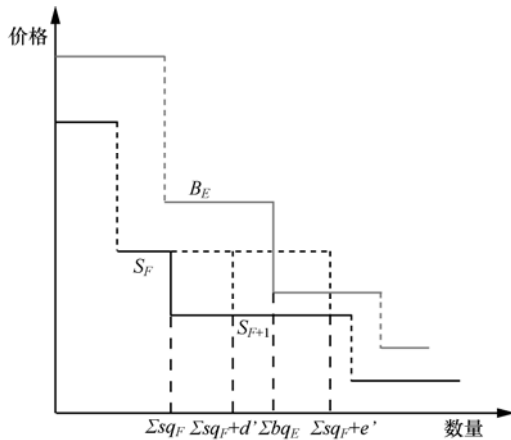


图 9 卖方 F 报高了交易数量，其他卖方保持不变

5 模拟实验及结果分析

5.1 实验设置

模拟实验中用到的主要参数设置如下。

- 1) 买方请求的交易价格服从均匀分布 $U(20, 60)$ ，卖方请求的交易价格服从均匀分布 $U(50, 100)$ 。
- 2) 买方请求和卖方请求的交易数量服从均匀分布 $U(10, 100)$ 。

所有的实验结果数据均取 1 000 次相同实验的平均值。

5.2 实验结果与分析

参照文献[12]中的方法，本文设计了 2 组模拟实验，第一组实验将本文提出的适应性双向拍卖机制 ADAM 与文献[11]提出的多数量双向拍卖机制（记为 MDAM）在市场参与者的满意度（包括买方满意度和卖方满意度）方面进行比较，第二组实验对 ADAM 本身的经济效率进行分析。

1) 买方满意度和卖方满意度

通过设置 $m < n$ 来模拟供过于求的情况；设置 $m > n$ 来模拟供不应求的情况。采用的 (m, n) 值分别为 $(20, 180)$ 、 $(40, 160)$ 、 $(60, 140)$ 、 $(80, 120)$ 、 $(100, 100)$ 、 $(120, 80)$ 、 $(140, 60)$ 、 $(160, 40)$ 、 $(180, 20)$ 。不同买卖

方个数差别下的买方满意度和卖方满意度分别如图 10 和图 11 所示。

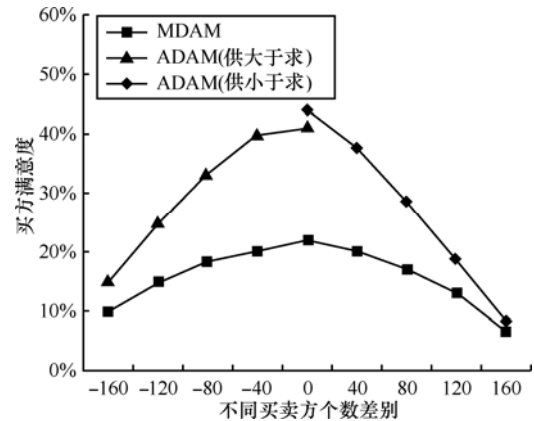


图 10 不同买卖方个数差别下的买方满意度

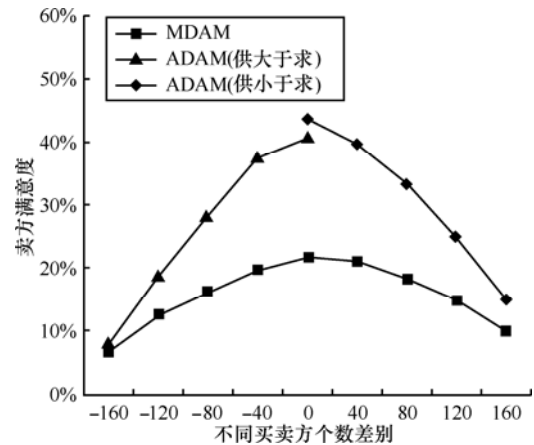


图 11 不同买卖方个数差别下的卖方满意度

从图 10 和图 11 中可以看出，随着 $(m-n)$ 的值从 -160 增加到 0，2 种机制的买方满意度和卖方满意度都在增加，当 $m = n$ 时达到最大值，之后，随着 $(m-n)$ 的值从 0 增加到 160，2 种机制的买方满意度和卖方满意度又都在减少。这是因为在模拟实验中， $m = n$ 意味着资源供求平衡的情况，相对于供过于求的情况和供不应求的情况，相等的资源供应量和资源需求量不会特别地缺少资源的买方或者资源的卖方，因此能够促成更多的交易。

但是，比较提出的适应性双向拍卖机制 ADAM 和传统的双向拍卖机制 MDAM，无论是在 $(m-n)$ 的值从 -160 增加到 0 的过程中应用供过于求情况下的拍卖规则，还是在 $(m-n)$ 从 0 增加到 160 时应用供不应求情况下的拍卖规则，ADAM 机制下的买方满意度和卖方满意度都明显高于 MDAM 机制下的买方满意度和卖方满意度。这是因为 ADAM 机制会根据市场中商品不同的供求关系应用不同的拍卖规则，

从而能够满足更多的买方请求和卖方请求。因此 ADAM 不但能够满足更多的云计算用户，而且可以促成更多的资源成交，提高系统的资源利用率。

2) 经济效率

在 ADAM 下，每个市场参与者的收益，即买方收益和卖方收益，分别在买方的出价和卖方的要价中得到体现（参见式(1)和式(2)）。假设在拍卖中 M 个买方和 N 个卖方最终成交，则所有成功交易市场参与者的整体收益 PT(profit of traders)可由式(8)得到。

$$PT = \sum_{i=1}^M pb_i + \sum_{j=1}^N ps_j \quad (8)$$

而市场经营者的收益 PMM (profit of market maker) 是所有成功交易的买卖双方收益之间的差值，具体可由式(9)得到。

$$PMM = \sum_{i=1}^M bp_i \cdot bq_i - \sum_{j=1}^N sp_j \cdot sq_j \quad (9)$$

那么市场的经济效率 EM(efficiency of market) 就可以表示为

$$\begin{aligned} EM &= \frac{PT}{PT + PMM} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^M pb_i + \sum_{j=1}^N ps_j}{\sum_{i=1}^M pb_i + \sum_{j=1}^N ps_j + \sum_{i=1}^M bp_i \cdot bq_i - \sum_{j=1}^N sp_j \cdot sq_j} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^M pb_i + \sum_{j=1}^N ps_j}{\sum_{i=1}^M cv_i - \sum_{j=1}^N hc_j} \\ &= 1 - \frac{\sum_{i=1}^M bp_i \cdot bq_i - \sum_{j=1}^N sp_j \cdot sq_j}{\sum_{i=1}^M cv_i - \sum_{j=1}^N hc_j} \end{aligned} \quad (10)$$

可见，市场的经济效率与买方使用单位资源所能创造的价值 cv 和卖方向市场提供单位资源所需的成本 hc 有关。假设 hc 服从均匀分布 $U(40,80)$ ，图 12 给出了当 cv 分别服从均匀分布 $U(20,60)$ ， $U(40,80)$ 和 $U(60,100)$ 时，ADAM 的经济效率。

从图 12 中可以看出，随着市场参与者数量的增加，ADAM 的经济效率逐渐接近 100%，因此 ADAM 是渐进有效的 (asymptotically efficient)，适用于具有大量用户的云计算环境。而且随着 cv

由 $U(20,60)$ 变化到 $U(40,80)$ ，再变化到 $U(60,100)$ ，ADAM 的经济效率也在提高。这可以由式(10)来解释。当买方使用单位资源所能创造的价值 cv 相对卖方向市场提供单位资源所需的成本 hc 在升高时，

即式 (10) 中第二项的分母 $\sum_{i=1}^M cv_i - \sum_{j=1}^N hc_j$ 增大时， $\frac{\sum_{i=1}^M bp_i \cdot bq_i - \sum_{j=1}^N sp_j \cdot sq_j}{\sum_{i=1}^M cv_i - \sum_{j=1}^N hc_j}$ 会减小，因此，相应的效率

增加，这符合经济活动中的实际情况。事实上，从市场参与者的角度来看，所有市场参与者只看重自己能得到的收益，而把市场经营者所得到的收益，

即式(10)中的第二项 $\frac{\sum_{i=1}^M bp_i \cdot bq_i - \sum_{j=1}^N sp_j \cdot sq_j}{\sum_{i=1}^M cv_i - \sum_{j=1}^N hc_j}$ 看成是

一种效率的损失 (efficiency loss)。因此，效率的损失越小，拍卖市场的经济效率越高。

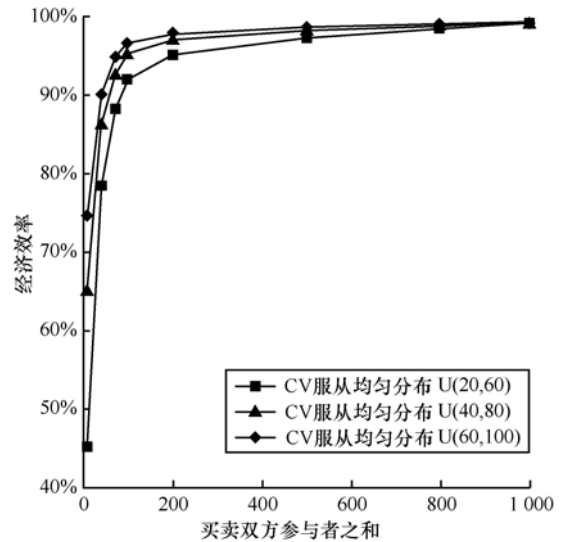


图 12 不同 cv 下的经济效率

6 结束语

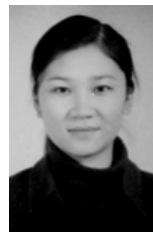
云计算的目的就是实现协同工作和资源共享，而云计算环境中各式各样资源体现出来的异构性和动态性以及用户需求的多样性，使得云计算环境下的资源管理变得异常复杂。经济机制作为一种灵活、有效的资源分配方法为云计算环境下资源分配问题提供了解决问题的新思路，得到了广泛的关注和应用，具有巨大的发展潜力。

本文对基于经济机制的云计算资源分配问题进行进一步的研究,提出一种基于双向拍卖的适应性云计算资源分配机制 ADAM, ADAM 把交易的价格和交易的数量看成是市场参与者的服务质量要求,在保证市场参与者收益的基础上,根据资源不同的供求关系应用不同的拍卖规则,尽量满足更多的市场参与者。模拟实验表明,ADAM 能够显著提高用户满意度和云计算系统的资源利用率,并且随着市场参与者数量的增加,ADAM 的经济效率也在不断提高,非常适合于具有大量用户和资源的云计算环境。而且,可以证明,即使在请求价格和请求数量均为保密信息的强约束条件下,ADAM 也具有策略性防伪、预算平衡和个人理性的特点。

参考文献:

- [1] FOSTER I, ZHAO Y, RAICU I, *et al.* Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared[M]. New York: IEEE Press, 2008.
- [2] ARMBRUST M, FOX A, GRIFFITH R, *et al.* A view of cloud computing[J]. Communications of the ACM, 2010, 53(4):50-58.
- [3] 陈庚, 郑纬民. 云计算: 系统实例与研究现状[J]. 软件学报, 2009, 20(5):1337-1348.
CHEN K, ZHENG W M. Cloud computing: system instances and current research[J]. Journal of Software, 2009, 20(5):1337-1348.
- [4] 平新乔. 平新乔讲义系列: 微观经济学十八讲[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.
PING X Q. PING Xinqiao Lecture Series: Eighteen Speak on Microeconomics[M]. Beijing: Peking University Press, 2001.
- [5] BUYYA R, YEO C S, VENUGOPAL S. Market-oriented cloud computing: vision, hype, and reality for delivering IT services as computing utilities[A]. The 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications(HPCC'08)[C]. Los Alamitos, CA, USA, 2008.5-13.
- [6] BUYYA R, YEO C S, VENUGOPAL S, *et al.* Cloud computing and emerging IT platforms: vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility[J]. Future Generation Computer Systems, 2009, 25(6):599-616.
- [7] BUYYA R, STOCKINGER H, GIDDY J, *et al.* Economic models for management of resources in peer-to-peer and grid computing[A]. Technical Track on Commercial Applications for High-Performance Computing, SPIE International Symposium on The Convergence of Information Technologies and Communications (ITCom'01)[C]. Denver, Colorado, USA, 2001.13-25.
- [8] BUYYA R, ABRAMSON D, GIDDY J, *et al.* Economic models for resource management and scheduling in grid computing[J]. The Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2002, 14(13): 1507-1542.
- [9] BUYYA R. Economic-Based Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing[D]. Melbourne: School of Computer Science and Software Engineering, Monash University, 2002.
- [10] SUTHERLAND I E. A futures market in computer time[J]. Communications of the ACM, 1968, 11(6): 449-451.
- [11] HUANG P, SCHELLER-WOLF A, SYCARE K. Design of a multi-unit double auction e-market[J]. Computational Intelligence, 2002, 18(4): 596-617.
- [12] 翁楚良, 陆鑫达. 一种基于双向拍卖机制的计算网格资源分配方法[J]. 计算机学报, 2006, 29(6): 1004-1009.
WENG C L, LU X D. A double auction method for resource allocation on computational grids[J]. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(6): 1004-1009.
- [13] SUN D W, CHANG G R, WANG C, *et al.* Efficient Nash equilibrium based cloud resource allocation by using a continuous double auction[A]. 2010 International Conference on Computer Design and Applications(ICCD'A'10)[C]. Qinhuangdao, China, 2010.94-99.
- [14] SHANG S F, JIANG J L, WU Y W, *et al.* A knowledge-based continuous double auction model for cloud market[A]. 6th International Conference on Semantics Knowledge and Grids(SKG'10)[C]. Los Alamitos, CA, USA, 2010.129-134.
- [15] ROOVERS J, VANMECHELEN K, BROECKHOVE J. A reverse auction market for cloud resources[A]. The 8th International Conference on Economics of Grids Clouds Systems and Services (GECON'11)[C]. Berlin, Germany, 2012.32-45.
- [16] BELALEM G, BOUAMAMA S, SEKHRI L. An effective economic management of resources in cloud computing[J]. Journal of Computers, 2011, 6(3):404-411.
- [17] BELALEM G, BOUAMAMA S, SEKHRI L. An efficient economic model user-oriented for cloud computing[J]. International Journal of Computer Applications, 2011, 15(2):32-39.
- [18] FUJIWARA I, AIDA K, ONO I. Applying double-sided combinational auctions to resource allocation in cloud computing[A]. 10th IEEE/IPSJ International Symposium on Applications and the Internet (SAINT'10)[C]. Seoul, Korea, 2010.7-14.

作者简介:



丁丁 (1980-), 女, 回族, 内蒙古赤峰人, 博士, 北京交通大学讲师, 主要研究方向为云计算和网格计算。

罗四维 (1943-), 男, 北京人, 博士, 北京交通大学教授、博士生导师, 主要研究方向为计算机并行处理、人工智能神经网络和多媒体技术等。

艾丽华 (1964-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 北京交通大学副教授, 主要研究方向为云计算和网格计算。