

# 基于组合双向拍卖的网格资源分配

李 立,刘元安,马晓雷

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室,北京 100876)

**摘 要:** 针对网格环境中资源分配的特点,提出新的基于组合双向拍卖的网格资源分配模型,通过网格用户和业务提供者的组合双向拍卖来实现资源的分配,并提出了网格资源定价算法,用以解决资源分配基础之上的计费问题.仿真结果表明,所提出的方案可以高效的完成资源的分配及定价,并且可以对平均报价较高的竞买方以及平均报价较低的竞卖方给予价格补偿.

**关键词:** 网格;资源分配;定价;组合拍卖;组合双向拍卖

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2009) 01-0165-05

## Grid Resource Allocation Based on the Combinatorial Double Auction

L I Li, L I U Yuan-an, M A Xiao-lei

(Key Laboratory of Universal Wireless Communications, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** Based on the combinatorial double auction theory, a Grid resource allocation model, in which the users and the Grid service providers participate in the combinatorial double auction for resource allocation, is proposed. The model is more suitable for the Grid environment. A novel resource pricing method is proposed to obtain the detailed price information related to the allocation. The simulation results demonstrate that the proposed scheme can carry out the resource allocation and pricing efficiently. Moreover, the buyers with the higher bids and the sellers with the lower bids will get the payoff during the pricing process.

**Key words:** grid; resource allocation; pricing; combinatorial auction; combinatorial double auction

### 1 引言

网格是利用互联网或专用网络将地理上广泛分布的、异构的、动态的资源互联起来实现资源的高度共享和集成,为用户提供高性能的计算、管理及服务的一种新技术.由于网格中的资源在地理上广域分布、自治、有不同的存取花费模式,并且可以动态地随时加入和离开网格环境,因此网格环境下资源的管理和调度是一个十分复杂的问题.对于这样一个大规模、开放式的网络环境,系统未来的负载情况、计算进程和通信所需时间等都是不确定的,因此不宜采用资源的静态分配方式,相反经济机制由于其灵活性和有效性而受到关注.

定价是经济网格中的一个重要研究方向,直接关系到资源管理和调度策略的有效性,许多文献<sup>[1~4]</sup>均围绕定价算法展开了研究.研究的重点主要基于议价模型、拍卖模型和商品市场等经济模型,其中组合拍卖理论作为近年来拍卖理论中研究的重点,非常适用于网格环境中的资源分配.在基于组合拍卖模型的网格系统中,资源的需求方可以为一组资源的组合投标,而不必像其他的经济模型以及单拍卖经济模型中一样需要对单独的

资源进行多次竞标,这样就大大提高了系统的效率.

在文献[3,5]中,对基于组合拍卖的网格资源定价以及分配进行了讨论,但是由于组合拍卖主要侧重于用户方面,对资源提供者的考虑较少,因此,现有的定价方法也仅仅解决了哪些用户的投标可以获胜的问题,相应的资源交易的价格也简单地默认为其竞标的价格或对系统总收入的简单划分,而对于资源提供者方面,由哪些资源提供者来提供资源,提供者对价格的需求等并没有考虑,因此,定价方法还有待进一步改进.

基于上述讨论,本文将组合双向拍卖理论引入网格系统,提出了基于组合双向拍卖的资源分配模型以及相应的资源定价算法.仿真结果表明,本文方法可以一次性完成多种组合资源的分配以及定价,是一种有效的资源分配方法.

### 2 组合双向拍卖

组合双向拍卖<sup>[6]</sup>作为组合拍卖和双向拍卖的结合,是买卖双方将多种商品按照不同种类与数量的组合进行双方报价拍卖的交易形式,与其他拍卖交易机制相比,组合双向拍卖不仅能解决垄断优势问题,而且能显

著地降低交易次数与交易成本,又能满足生产和生活消费需求日益多样性的需要,因而在电子商务中具有广阔的应用前景.将其用于网格系统的定价,可以更好的考虑到用户和资源提供者双方的利益.

设有一个集合  $K$ ,由  $k$  种不同的商品构成,拍卖参与人个数为  $n$  (包括买方和卖方),其竞拍项目用集合  $B = \{ B_1, \dots, B_j, \dots, B_n \}$  来表示,  $B_j$  可以表示为  $( a_j, p_j )$  的形式,其中  $a_j = ( a_{1j}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{kj} )$ ,  $a_{ij}$  表示第  $j$  个竞拍项目中所包含的第  $i$  种商品的数量,  $a_{ij} > 0$  表示对商品  $i$  的需求;  $a_{ij} < 0$  表示对商品  $i$  的供给;而  $a_{ij} = 0$  则表示商品  $i$  不在竞拍项目中.  $p_j$  表示投标人  $j$  对该资源组合的报价,  $p_j > 0$  表示竞买报价,  $p_j < 0$  表示竞卖报价. 则组合双向拍卖问题可以用下面模型来表示:

$$\max_{j=1}^n p_j x_j \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 0 \quad \forall i \in K \quad (2)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (3)$$

可以看出,组合双向拍卖的目标是尽可能使系统的交易剩余量最大化,其中约束条件(2)表明当用户竞买一定数量的产品时,资源拥有者至少应该保证可以提供这些数量的产品. 上述模型说明,尽管组合双向拍卖问题比较复杂,但运用整数规划方法可以给予很好的描述,另外,由于约束条件(3)的限制,模型可以简化为 0-1 规划问题.

### 3 基于组合双向拍卖的资源分配

#### 3.1 资源分配模型

根据上述分析,我们可以将组合双向拍卖理论用于网格资源分配.在网格环境中,可以用来交换的资源包括计算资源、存储资源、网络带宽等,用户可以对这些资源的组合进行竞买以获得用于完成任务的资源,而资源拥有者也可对这些资源的组合进行竞卖,以期在一次交易中完成多种资源的分配,提高拍卖的效率.

基于组合双向拍卖的网格资源分配模型见图 1 所示,主要包括用户代理(UB),网络信息业务(GIS),网络业务提供者(GSP)和网格市场拍卖者(GMA)四部分,其具体功能见参考文献[7].我们提出的模型与现有的基于组合拍卖的资源分配模型<sup>[5]</sup>的主要区别在于:所使

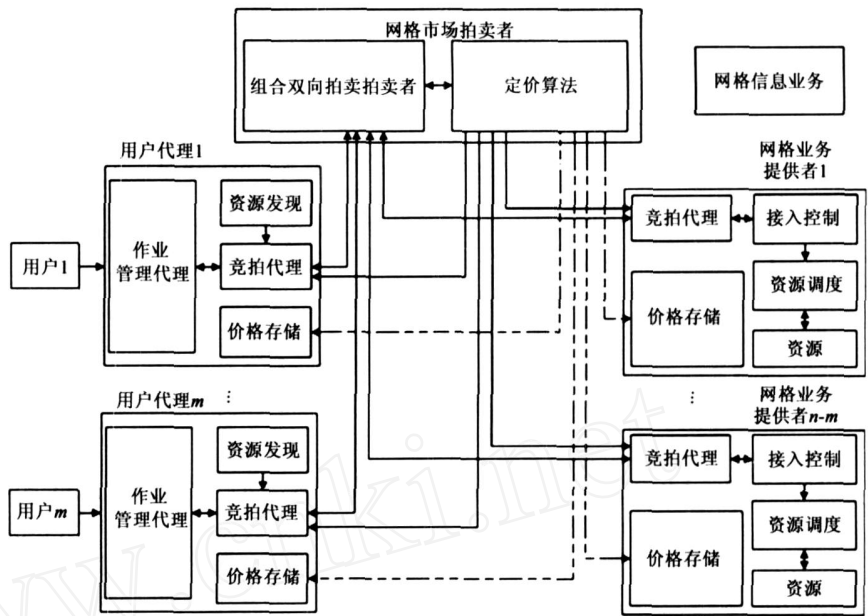


图1 基于组合双向拍卖的网格资源分配模型

用的拍卖模型以及 GMA 中定价算法组件的设计及功能实现,具体见下文所示;UB 以及 GSP 中的价格存储组件;以及上述区别引起的组件之间交互的差别.在文献[5]中,只有 UB 单方给出报价,而在本文的模型中,UB 和 GSP 均可对资源的组合给出相应的报价.

#### 3.2 资源分配及定价算法

由上述模型可见,资源分配中的拍卖算法以及定价算法均在 GMA 中实现,是资源分配的核心部分,下面对本文算法进行详细介绍,其步骤如下:

(1)  $n$  个组合双向拍卖参与者 ( $m$  个 UB 以及  $n - m$  个 GSP) 中的竞拍代理将所需及可提供的资源组合以及相应的报价以  $B_j$  的形式发送给 GMA 中的组合双向拍卖者,由拍卖者运行式(1)的组合双向拍卖算法,得到本轮拍卖结果  $x_j$ ,并将结果通知给各参与者,获胜的参与者记为交易者.此处首先通过组合双向拍卖算法对拍卖参与者进行选择,选取那些能够使系统的收入最大化的参与者作为下阶段的交易者.下面通过考虑双向拍卖中买卖双方的价格需求,对这些交易者的资源分配和交易价格做进一步的调整.

(2) 首先计算每个交易者的平均报价  $mp_j$ ,见式(4)所示,并将交易者按照买方(UB)和卖方(GSP)进行分类.其中买方按照平均报价由大到小排列,得到列表  $bl$ ,卖方按照平均报价由小到大排列,得到列表  $sl$ ,然后再将  $sl$  按照资源种类进行分类,得到  $k$  个卖方列表  $sl_i$ ,  $i \in \{1, \dots, k\}$ ,且每个卖方列表对应一个数量列表  $q_i$ ,其中  $k$  为资源种类.

$$mp_j = \frac{p_j}{\sum_{i=1}^k a_{ij}} \quad (4)$$

(3) 产生平均交易价格矩阵  $mtp$ , 其中  $mtp(s, t)$  表示  $bl$  中第  $s$  个买方与  $sl$  中第  $t$  个卖方进行交易时的平均交易价格, 计算公式如下:

$$mtp(s, t) = \frac{mp_{bl(s)} + mp_{sl(t)}}{2} \quad (5)$$

(4) 按照买方列表  $bl$  中的先后顺序进行资源分配及定价, 直到所有买方交易者处理完毕为止, 具体算法见图 2 所示, 由此可以得到资源分配的具体情况以及相应的价格信息. 其中  $alloc_i, tp_i$  分别表示第  $i$  种资源的分配矩阵和价格矩阵, 均为  $g$  行  $h$  列, 分别对应  $bl$  以及  $sl$  中买方和卖方的个数,  $alloc_i(s, t)$  表示  $sl$  中第  $t$  个卖方提供给  $bl$  中第  $s$  个买方资源  $i$  的数量,  $tp_i(s, t)$  表示第  $t$  个卖方提供这些数量资源所收取的费用. 定价结束后, 得到  $tpb$  和  $tps$  两个矢量分别表示各个买方应支付以及各个卖方应收取的总价格, 且有

$$tpb = \begin{matrix} h & k \\ \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \end{matrix} & \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \end{matrix} \end{matrix} \begin{matrix} k \\ k \end{matrix} \begin{matrix} g & k \\ \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \end{matrix} & \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \end{matrix} \end{matrix} \begin{matrix} k \\ k \end{matrix} \quad (6)$$

(5) 根据资源分配结果将作业分别传给相应的 GSP, 并按照步骤 (4) 产生的价格信息进行计费.

#### 4 仿真

我们对本文分配及定价算法进行仿真, 仿真中设网格环境中竞拍的资源种类为 3, 记为 A、B、C 三种商品, 组合双向拍卖参与者总数为 16, 其中包括 6 个 UB 以及 10 个 GSP, 设拍卖过程中每个参与者均按照其对资源组合的真实估价来出价. 每个参与者的竞拍参数, 包括参与者对第  $i$  种商品的需求或供给  $a_{ij}$  以及对资源组合的竞拍价  $p_j$  如表 1 所示. 通过对组合双向拍卖问题进行求解, 可得竞买方中 1、2、3、5、6 与竞卖方中 7、8、10、11、12、13、15、16 中标, 而买方中的 4 和卖方中的 9、14 没有中标.

使用本文方法进行分析, 得到的最终结果如表 2、3

表 1 参与者竞拍参数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	0	4	3	2	4	1	0	-3	-2	-1	-2	0	-3	-2	0	-3
B	3	3	3	0	3	5	-2	-2	-3	-3	-2	-1	-3	0	-3	-1
C	3	3	4	1	2	1	-2	-3	-1	0	0	-3	-1	-3	-3	-1
p	104	136	144	33	125	93	-59	-110	-80	-36	-38	-70	-93	-71	-76	-54

表 2 买方定价结果

交易者	竞拍价	交易价	支付对象
1	104	83.6	10(3B, 39.5)、16(1C, 14.1)、15(2C, 30)
3	144	127.6	10(1A, 11.7)、11(2A, 2B, 47.8)、16(1B, 12.6)、15(1C, 13.5)、13(1C, 13.8)、8(2C, 28.2)
5	125	118.6	16(3A, 37)、15(3B, 39.8)、13(1A, 13.6)、8(1C, 13.8)、7(1C, 14.3)
2	136	139.8	13(2A, 3B, 67.2)、8(2A, 27.4)、7(1C, 14.2)、12(2C, 31.1)
6	93	99.4	8(1A, 2B, 40.6)、7(2B, 28)、12(1B, 1C, 30.8)

```

Input: B, bl, sl, qi; Output: tpi, alloci; i ∈ {1, ..., k}
(1) Initialization:
    s = 1, i = 1, tpi = [0]g×h, alloci = [0]g×h.
(2) Inquire the average trade price matrix mtp, compare the buyer's requirement
    abl(s)} with qi(m)
    m ← the location of the first non-zero quantity in the list qi
    t ← the location of seller sli(m) in the list sl
    If qi(m) ≥ abl(s)}
        tpi(s, t) = tpi(s, t) + abl(s)} · mtp(s, t);
        alloci(s, t) = alloci(s, t) + abl(s)};
        qi(m) = qi(m) - abl(s)};
        abl(s)} = 0;
        Go to step (3);
    else
        tpi(s, t) = tpi(s, t) + qi(m) · mtp(s, t);
        alloci(s, t) = alloci(s, t) + qi(m);
        abl(s)} = abl(s)} - qi(m);
        qi(m) = 0;
        Repeat step (2);
(3) Store the temporary allocation result alloci and pricing information tpi, determine
    whether all the resource requirements of the sth buyer are satisfied.
    If all the requirements are satisfied
        Go to Step (4);
    else
        i = i + 1;
        Go to Step (2);
(4) Determine whether all the buyers' requirements are satisfied, i.e., whether got to the
    end of the bl.
    If at the end of the bl
        EXIT:
        else
            s = s + 1;
            i = 1;
            Update tpi, alloci and qi;
            Go to Step (2);
    
```

图 2 资源分配及定价算法

所示, 其中表 2 为买方所得结果. 表中买方交易者的顺序与  $bl$  中顺序相同, 支付对象一栏中给出了每个交易者对应的支付对象、资源分配情况以及相应的支付金额. 以交易者 1 为例, 可以看出, 交易者 1 的资源需求将由交易者 10、16 和 15 来共同满足, 其中 10 提供 3 个单位的 B 类资源, 需支付的金额为 39.5, 16 提供 1 个单位的 C 类资源, 需支付的金额为 14.1, 15 提供 2 个单位的 C 类资源, 需支付的金额为 30. 表 3 给出了各交易卖方的竞拍价、交易价以及收入对象. 可以看出, 本文所提出的方法可以一次性完成 13 个交易者的资源分配和定价, 表现出较高的效率.

下面我们对交易者的效用情况进行分析,结果如图3所示,由于交易者均按照其真实估价报价,对于买方,效用 = 报价 - 交易价格,而对于卖方,效用 = 交易价格 - 报价<sup>[8]</sup>.可以看出,仿真中平均报价越大(小)的交易买(卖)方,在定价结束后,将会获得越大的效用,也就是说系统将会反馈其较大的补偿金额。

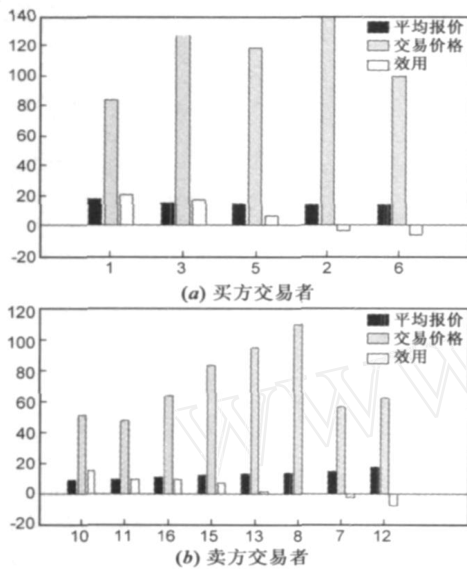


图3 交易者所得效用

为了说明本文方法的有效性,我们对规模更大的资源分配进行仿真,该例中包括120个拍卖参与者,其中50个UB和70个GSP,经过组合双向拍卖选择后,选中其中的34个买方和55个卖方为交易者,利用本文算法可以得到所有买方需支付以及卖方应收入的金额,以及资源的具体分配情况.图4给出了交易者的定价结果,其中图4(a),(b)分别为买方和卖方所得到的结果,这里横坐标的节点标号分别与bl和sl中节点的顺序一致.图4(c),(d)分别给出了各标号具体对应的买方以及卖方,由此即可得到某个特定交易者的交易价格.以图4(a),(c)横坐标中第9个点为例,由图4(c)可知,该点对应的买方标号为1,即为第一个UB,由图4(a)可得该UB的原始竞价以及最终确定的交易价格分别为59和48.6.通过同样的方法可以得到卖方横坐标上任意一点所对应的GSP标号以及交易价格.可以看出,本文算法可以有效的完成资源定价,最终得到的交易价格曲线与竞拍价格曲线趋势基本相同,另外,平均报价排在前面的交易者将会得到相应的补偿,而最后的若干个交易者将会支付略高于竞拍价格(买方)或收入略低于竞拍价格(卖方)的金额,即得到负效用.当然,如果交易者希望仅在效用为正值时才进行交易,那么得到负效用的交易者可以选择退出本次资源分配,在下一轮的拍卖中继续参加竞拍。

表3 卖方定价结果

交易者	10	11	16	15	13	8	7	12
竞拍价	36	38	54	76	93	110	59	70
交易价	51.2	47.8	63.7	83.4	94.6	109.9	56.5	61.9
收入对象	1,3	3	1,3,5	1,3,5	3,5,2	3,5,2,6	5,2,6	2,6

表4 本文算法的节点交易率及时间复杂性

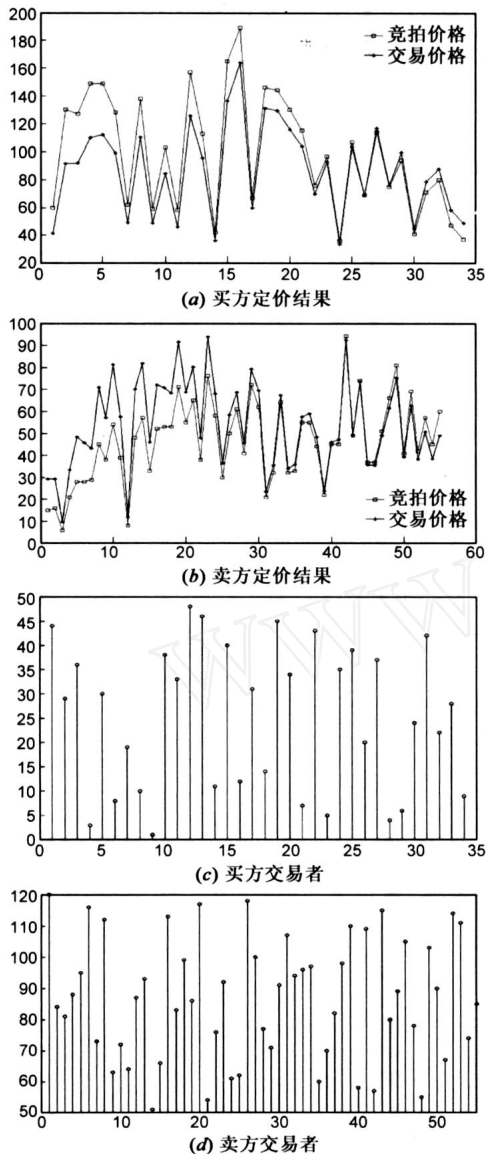
n	50	100	200	400	600	800	1000	2000
节点交易率	80%	74%	77.5%	76.5%	73.2%	75.5%	77%	76.9%
时间(s)	0.1	0.5	1.4	3.7	8.5	15	22	101

为了说明本文算法相对于现有的定价算法的优势,表4中给出了本文算法在节点交易率与时间复杂性两个方面的统计结果.仿真中所选的拍卖参与者总数 $n$ 分别为50,100,200,400,600,800,1000,2000,其中买方和卖方个数各占1/2,资源种类仍为3类.节点交易率定义为最终交易的节点数占拍卖参与者总数的百分比情况.由表4可以看出,本文算法可以在可以接受的时间内,完成资源的分配和定价,并最终得到较高的节点交易率.而在常用的基于单类物品拍卖(英式拍卖,荷兰拍卖,双向拍卖等)的分配中,每次拍卖仅可以得到一对交易者对于单类商品的交易情况,即单拍卖后得到的节点交易总数仅为1个买方和1个卖方.以 $n=50$

为例,如果希望达到本文算法所得的80%的交易率,则至少需要进行大约60次拍卖.可以看出,本文算法可以很大程度上提高网络资源分配及定价的效率.另外,由上述分析可知,本文算法可以得到具体的资源分配情况,以及每个交易者的需支付或者收取的价格信息,相对于仅仅考虑买方竞价、不考虑具体资源提供者及其价格需求的单向组合拍卖来说,具有更强的系统性以及可操作性,更加适合网络系统的资源分配。

## 5 结论

本文介绍了组合双向拍卖的概念,基于网格环境中资源分配的特点,提出了基于组合双向拍卖的资源

图4 交易者定价结果( $n=120$ )

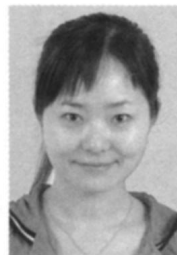
分配模型,并在此基础上提出新的资源分配及定价算法.实验表明,该算法具有较强的分配及定价功能,可以在一次交易中完成多种资源的定价,得到完整的资源分配情况,并且可以实现一定的价格补偿功能.在下一步的工作中,将使用 GridSim 对整个资源分配过程进行模拟,并考虑在多回合组合双向拍卖中,如何根据上一轮拍卖结果确定本轮出价策略的问题,进一步提高系统效率.

## 参考文献:

[1] Yang Jin, Yang Shoubao, Li Maosheng, Fu Qianfei. An autonomous pricing strategy toward market economy in computational grids[A]. In Proc. of the Int Conf on Information Technology: Coding and Computing [C]. Nevada: IEEE Press, 2005. 793 - 794.

- [2] P Ghosh, N Roy, S K Das, K Basu. A pricing strategy for job allocation in mobile grids using a non-cooperative bargaining theory framework[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2005, 65(11): 1366 - 1383.
- [3] M Schwind, O Gujo, T Stockheim. Dynamic resource prices in a combinatorial grid system[A]. In Proc. of the 8th IEEE Int Conf on E-Commerce Technology and 3rd IEEE Int Conf on ENTERPRISE Computing, E-Commerce, and E-Services [C]. California: IEEE Press, 2006. 49 - 54.
- [4] Zhao Xiangang, Xu Liutong, Wang Bai. A dynamic price model with demand prediction and task classification in grid[A]. In Proc. of the 6th Int Conf on Grid and Cooperative Computing [C]. Urumchi: IEEE Press, 2007. 775 - 782.
- [5] A Das, D Grosu. Combinatorial auction-based protocols for resource allocation in grids[A]. In Proc. of the 19th IEEE Int Parallel and Distributed Processing Symposium [C]. Colorado: IEEE Press, 2005. 23 - 30.
- [6] M Xia, J Stallaert, A B Whinston. Solving the combinatorial double auction problem[J]. European Journal of Operational Research, 2005, 164(1): 239 - 251.
- [7] Li Li, Liu Yuanan, B Stiller. Combinatorial Double Auction-based Scheme for Resource Allocation in Grids[R]. University of Zürich, Department of Informatics, CSG, Technical Report No. 2008.05, Zürich, 2008.
- [8] M Xia, G J Koehler, A B Whinston. Pricing combinatorial auctions[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 154(1): 251 - 270.

## 作者简介:



李立女, 1982年4月生于山东菏泽, 北京邮电大学博士研究生, 从事网格计算、资源管理的研究。

E-mail: lily82. bupt @gmail. com

刘元安 男, 1963年生于四川乐至, 北京邮电大学教授, 博士生导师, 从事移动通信、网络、信息安全等研究。

E-mail: yuliu @bupt. edu. cn



马晓雷 男, 1977年11月生于河北唐县, 博士, 从事 Ad Hoc 网络, 分布式系统的研究。

E-mail: horsedavid @163. com