

一种基于定价与信任的网格资源分配算法

杨 明 刘元安 马晓雷 李 立
(北京邮电大学电子工程学院 北京 100876)

摘 要: 该文首先对基于组合双向拍卖的网格资源分配与定价模型进行改进, 提出以各类资源的单价定价的算法。然后提出一种等效价格算法, 设计基于信任度的价格调整函数, 将不同信任度的各节点的报价, 都映射为基准信任度下的等效价格。最后基于该等效报价, 以组合双向拍卖模型进行网格资源分配。仿真表明所提算法的交易率较高, 能防止恶意节点参与交易, 所得交易效用可激励买家提高和卖家降低其等效报价。

关键词: 网格; 资源分配; 定价; 组合双向拍卖; 信任; 效用

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2010)04-0846-06

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2009.00435

A Grid Resource Allocation Algorithm Based on Pricing and Trust

Yang Ming Liu Yuan-an Ma Xiao-lei Li Li

(School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: This paper firstly improves the combinatorial double auction based grid resource allocation and pricing model, and proposes a unit price based pricing algorithm. Then an equivalent price algorithm is proposed, which designs the trust-based price adjusting function, and maps the bid prices of the nodes which have different trust values into the equivalent prices under the base trust degree. Finally the grid resources are allocated by combinatorial double auction using these equivalent prices. Simulations show the algorithm has high trade rate, can prevent malicious nodes from entering the trade. The trade utility can give buyers and sellers incentives to increase and decrease their equivalent bid prices, respectively.

Key words: Grid; Resource allocation; Pricing; Combinatorial double auction; Trust; Utility

1 引言

网格作为继 Internet 之后的一种新型网络计算平台, 本质是在动态和多机构的虚拟组织内, 实现协同的问题求解与资源共享。网格资源具有异构性、动态性, 传统的资源管理方式不再适用于网格。而计算经济模型将经济概念引入网格资源分配, 以市场机制调节用户与资源提供者的交易, 不仅能激励资源提供者的加入, 以竞争机制提高其服务质量, 还能促进用户对资源的公平合理使用, 因此具有广阔前景。

定价是基于经济的网格资源分配中一个重要的研究点。拍卖^[1]是一种常用的定价模型, 它基于博弈理论, 反映了市场价格均衡机制和资源配置的内在过程。其中的组合双向拍卖^[2]非常适于网格资源分配, 可满足网格资源需求的多样性, 又解决了单边拍卖的垄断, 能一次完成多个资源提供者与多个用

户对多种资源的交易。

网络经济的另一个重要研究方向是信任^[3]机制, 涉及到网络安全与服务质量两方面。文献[4]基于信任度对恶意节点进行鉴别, 有效加强了网格资源分配的安全性。文献[5]以信任度作为服务质量的反映, 提出基于信任度的资源分配策略, 可确保高信任度节点有更大收益, 有效激励节点提高服务质量。

定价和信任在当前的网格经济模型中大多处于分离状态。多属性拍卖^[6]虽然考虑交易中的多种影响因素, 但需经历多轮交易才可完成资源分配, 即先基于价格选择中标者, 再和中标者协商服务质量等其它因素, 设计复杂, 通常适于一个买家多个卖家的情况。

本文在对组合双向拍卖模型进行改进的基础上, 提出一种等效价格算法, 将定价与信任机制相结合进行网格资源的分配, 仿真结果验证了算法的有效性。

2 网格资源分配与定价模型分析

组合双向拍卖作为组合拍卖^[7]和双向拍卖^[8]的结合, 允许买卖双方把多种商品按不同数量和种类

2009-03-30 收到, 2009-09-28 改回

欧盟网格项目 EC-GIN(FP6-2006-IST-045256), 国家 863 计划项目 (2008AA01Z211) 和国家自然科学基金(60802033, 60873190)资助课题

通信作者: 杨明 yangming.bupt@gmail.com

的组合进行拍卖报价。文献[9]提出一种基于组合双向拍卖模型的网格资源分配与定价算法。设 n 个网格节点对 k 类资源进行交易。 $\mathbf{a}_j = (a_{1j}, \dots, a_{kj})$ 为节点 $j(j=1, \dots, n)$ 提交的组合资源包, a_{ij} 为其中第 i 类资源的数量; 对 $\mathbf{a}_j$ 的报价为 p_j 。 a_{ij} 与 p_j 为正值表示用户数据, 负值表示资源提供者的数据。网格市场拍卖师(Grid Market Auctioneer, GMA)收集各节点的 $\mathbf{a}_j$ 与 p_j , 用以下模型^[2]求解获胜的卖家与买家:

$$\max \sum_{j=1}^n p_j e_j \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n a_{ij} e_j \leq 0, \forall i \in \{1, \dots, k\} \quad (2)$$

式中 $e_j \in \{1, 0\}$, 表示拍卖中节点 j 获胜或失败。目标函数式(1)使系统获得最大交易盈余, 约束条件式(2)确保胜出的资源提供者至少可提供胜出用户所需的资源。

胜出的各买家按平均价格降序排列, 可得买家列表 λ ; 各卖家按平均价格升序排列, 可得卖家列表 θ 。排序所依据的平均价格 mp_j , 以及 λ 内第 x 个买家与 θ 内第 y 个卖家的单位平均交易价格 $\text{mtp}(x, y)$ 分别为

$$\text{mp}_j = p_j / \sum_{i=1}^k a_{ij} \quad (3)$$

$$\text{mtp}(x, y) = (\text{mp}_{\lambda(x)} + \text{mp}_{\theta(y)}) / 2 \quad (4)$$

该模型交易率较高, 有高效的激励机制, 但存在以下不足: (1)未考虑各类资源的单价有较大差异的情况; (2)仅考虑了价格因素, 而忽视交易中节点信任度的影响。第3, 4节分别改进了这两个问题。

3 组合双向拍卖中基于单价的定价算法

设 $\mathbf{a}_j$ 的单价为 $\mathbf{u}_j = (u_{1j}, \dots, u_{kj})$, u_{ij} 表示节点 j 第 i 类资源的单价 ($u_{ij} > 0$ 为单价绝对值)。 $p_j = \sum_{i=1}^k u_{ij} a_{ij}$, 则式(3)可写为

$$\text{mp}_j = \sum_{i=1}^k u_{ij} a_{ij} / \sum_{i=1}^k a_{ij} \quad (5)$$

文献[10]分析了以 mp_j 定价的不足。对节点 j , 当各 u_{ij} 相近时 $\text{mp}_j \approx u_{ij}$; 上述以 mp_j 替代各类资源真实单价的算法误差较小。然而许多网格应用中, 各类资源根据对执行任务的重要性, 单价有较大差异。例如科学计算网格, CPU 资源的单价远高于带宽资源的单价; 而实时对战游戏网格, 网络带宽的单价则远高于存储资源单价。此时以 mp_j 代入式(4)计算单位交易价格, 可能导致各类资源都报价较高的卖家却在 θ 内排序在前, 或各类资源都报价较低的买家却在 λ 内排序在前, 最终产生严重定价误差。

设交易中有两类资源, 第1类为高价资源而第2类为低价资源; 卖家 j 与 j' 相比

$$u_{1j} < u_{1j'} \text{ 且 } u_{2j} < u_{2j'} \quad (6)$$

由式(5)知, $\mathbf{u}_j$ 确定后 mp_j 随各类资源占 $\mathbf{a}_j$ 内资源总数的比重 $a_{ij} / \sum_{i=1}^k a_{ij}$ 而变, 则各卖家平均价格的取值范围为 $\text{mp}_j \in [u_{2j}, u_{1j}]$, $\text{mp}_{j'} \in [u_{2j'}, u_{1j'}]$ 。若 $a_{1j} / (a_{1j} + a_{2j})$ 较大且 $a_{2j'} / (a_{1j'} + a_{2j'})$ 较大, 则 mp_j 趋于 u_{1j} 而 $\text{mp}_{j'}$ 趋于 $u_{2j'}$, 此时

$$\text{mp}_j > \text{mp}_{j'} \quad (7)$$

对比式(6), 式(7), 卖家 j 各类资源的单价都低于 j' , 却因平均价格较高而在 θ 内排序在后, 形成错误激励。更多类资源的情况与此分析相同。

文献[9]激励卖家增大 $\mathbf{a}_j$ 内的低价资源比重以降低 mp_j , 或买家增大高价资源比重以提高 mp_j 。而以 $\mathbf{u}_j$ 排序及定价, 则激励卖家降低或买家提高各类资源的单价, 更合乎经济学观点。以下所提组合双向拍卖模型中, 均采用基于 $\mathbf{u}_j$ 定价的算法。

4 基于组合双向拍卖与信任的网格资源分配与定价

组合双向拍卖中引入信任机制, 可建立更好的安全和激励机制: (1)将低信任度节点记为恶意节点, 禁止其参与交易, 可防止恶意资源提供者提供不稳定资源致使作业难以完成, 或恶意用户在获取资源后不支付费用以及对资源提供者不公正评价。(2)将信任度作为服务质量的反映, 可使服务质量与价格共同决定拍卖节点的综合竞争力, 类似于经济活动中追求的物美价廉。文献[11]全面分析了网格信任模型。本节将研究组合双向拍卖与信任相结合进行资源分配与定价的算法, 以建立安全的网格交易环境; 建立对价格与信任度综合竞争力的量化衡量体系, 激励综合竞争力高的节点获取更大效用。

4.1 基于信任度的价格调整函数

以 t_j 表示节点 j 的信任度。 t_j 与 u_{ij} 属性不同: (1) $0 \leq t_j \leq 1$ 无量纲, 而 u_{ij} 为任意正值且以货币单位计量; (2) t_j 越大越有优势, 而 u_{ij} 对价格竞争力的反映需分卖家和买家而论, 卖家 u_{ij} 越低越有优势, 买家则相反。因此不能直接由两者计算综合竞争力。以 T_0 表示基准信任度(取以往交易中, 交易成功的各节点的信任度均值), 对信任度为 t_j 的节点所报单价 u_{ij} , 设其综合竞争力等价于信任度为 T_0 的节点所报单价 $f(t_j)u_{ij}$; $f(\cdot)$ 为信任度的函数。将不同信任度的各节点的报价都映射为 T_0 下的等效价格, 则可用该等效价格衡量其综合竞争力。对于用户, $t_j > T_0$ 时等效报价应比原始报价升高, 且越远离 T_0 升高越快; $t_j < T_0$ 时等效报价应降低, 且越远离 T_0 降低越快, 直至降为 0。资源提供者的等效报价与此相反。

分别用 nb 和 ns 表示买家和卖家总数, $ub_{ij}(j=1, \dots, \text{nb})$ 和 $us_{ij}(j=1, \dots, \text{ns})$ 表示买家和卖家第 i

类资源的单价。 ub_{ij} 的调整系数 $f_b(t_j)$ 应满足:

(1) $t_j = 0$ 的买家, 等效报价为 0; $t_j = T_0$ 的买家, 等效报价不变, 即

$$f_b(0) = 0, f_b(T_0) = 1 \quad (8)$$

(2) $f_b(t_j)$ 连续可导, 不在任何 t_j 值发生突变, 以减少主观设置对调整系数的影响。

(3) $f_b(t_j)$ 单调递增, 调整系数随 t_j 增大而增大, 即

$$df_b/dt_j > 0 \quad (9)$$

(4) T_0 附近 $f_b(t_j)$ 较平缓, 对报价调整较小; t_j 由 T_0 趋向 1 时 $f_b(t_j)$ 增加幅度越来越大, 即区间 $(T_0, 1]$ 内 df_b/dt_j 单调递增; t_j 由 T_0 趋向 0 时 $f_b(t_j)$ 降低幅度越来越大, 即 $[0, T_0)$ 内 df_b/dt_j 单调递减。

$$\left. \begin{aligned} d^2 f_b/dt_j^2 &< 0, & 0 \leq t_j < T_0 \\ d^2 f_b/dt_j^2 &= 0, & t_j = T_0 \\ d^2 f_b/dt_j^2 &> 0, & T_0 < t_j \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

为构造 $f_b(t_j)$, 可先寻找符合以下条件的基初等函数 $f_0(t)$: 定义域 $(-c, c)$ 或 $[-c, c]$, c 为任意正数; $df_0/dt > 0$; $(-c, 0)$ 内 $d^2 f_0/dt^2 < 0$, $(0, c)$ 内 $d^2 f_0/dt^2 > 0$ 。再对 $f_0(t)$ 伸缩平移变换可得 $f_b(t_j)$ 。正切、反正弦、双曲正弦、反双曲正切等函数均符合, 其中反双曲正切有更大的二阶导数绝对值, 对报价调整效果更明显, 故取

$$f_0(t) = \operatorname{arctanh}(t) = 0.5 \ln(1+t)/(1-t) \quad (11)$$

由于-1 和 1 不在 $f_0(t)$ 定义域, 故将 $f_0(t)$ 伸缩 $(1+\varepsilon)T_0$ 倍($\varepsilon > 0$), 再平移变换, 可得

$$f_b(t_j) = \frac{f_0\left(\frac{t_j - T_0}{(1+\varepsilon)T_0}\right) - f_0(-1/(1+\varepsilon))}{-f_0(-1/(1+\varepsilon))} \quad (12)$$

取 $T_0 = 0.7, \varepsilon = 0.05$, $f_b(t_j)$ 曲线如图 1 所示。

us_{ij} 的调整系数 $f_s(t_j)$ 应满足:

(1) $t_j = T_0$ 的卖家, $f_s(T_0) = 1$ (而对 $t_j = 0, 1$ 的卖家, 等效报价较难确定)。

(2) 与 $f_b(t_j)$ 的条件(2)相同, $f_s(t_j)$ 连续可导。

(3) $f_s(t_j)$ 随 t_j 增大而减小, 即

$$df_s/dt_j < 0 \quad (13)$$

(4) T_0 附近 $f_s(t_j)$ 较平缓, 区间 $[0, T_0)$ 内 df_s/dt_j 单调递增, $(T_0, 1]$ 内 df_s/dt_j 单调递减, 即

$$\left. \begin{aligned} d^2 f_s/dt_j^2 &> 0, & 0 \leq t_j < T_0 \\ d^2 f_s/dt_j^2 &= 0, & t_j = T_0 \\ d^2 f_s/dt_j^2 &< 0, & T_0 < t_j \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

基于以上 4 点, 并根据买家与卖家报价调整系数尽量对称的要求, $f_s(t_j)$ 可由 $f_b(t_j)$ 变换得到

$$f_s(t_j) = -f_b(t_j) + 2 \quad (15)$$

4.2 基于等效报价的恶意节点鉴别

基准信任度下的等效报价, 不仅可衡量价格和信任度的综合竞争力, 还能有效鉴别恶意节点, 激励节点提高自身的信任度, 以增加被选中参与交易的可能性。将该等效报价代入式(1)可得

$$\max \sum_{j=1}^n f(t_j) \left(\sum_{i=1}^k u_{ij} a_{ij} \right) e_j \quad (16)$$

若节点 j 为买家则 $f(t_j) = f_b(t_j)$; 若为卖家则 $f(t_j) = f_s(t_j)$ 。由于恶意用户的等效报价 $f_b(t_j) \sum_{i=1}^k ub_{ij} a_{ij}$ 比原始报价大大降低, 恶意资源提供者的等效报价 $|f_s(t_j) \sum_{i=1}^k us_{ij} a_{ij}|$ 则大大升高, 因此恶意用户与资源提供者都难以被选中参与交易。

4.3 网格资源分配与定价算法流程

基于 4.1 节和 4.2 节算法, 可得网格资源分配与定价的流程。首先基于等效报价, 以组合双向拍卖模型选择获胜节点, 剔除恶意节点。然后分别根据各类资源的等效单价对买家和卖家列表排序。最后买家列表与卖家列表中的各节点分别交易, 单位交易价格是双方等效单价的均值。具体流程如下:

(1) n 个节点分别向 GMA 提交 a_j 和 u_j , GMA 查询信任模块获取各节点的 t_j 。

(2) GMA 计算 $f_b(t_j)$ 与 $f_s(t_j)$, 由式(16), 式(2)求解本轮拍卖结果 e_j , 获胜买家的标号存入列表 **BL**, 获胜卖家的标号存入 **SL**。(注: **BL**与第 2 节中根据文献[9]算法所得的买家列表 λ 并不同; 同理, **SL**与第 2 节所述 θ 也不同。)

(3) 对第 i 类资源, (a)将 **BL**内 $a_{ij} \neq 0$ 的买家存入列表 **bl_i**; 计算 **bl_i**内第 x 个买家的等效单价 $f_b(t_{bl_i(x)})ub_{i,bl_i(x)}$, 并按其对 **bl_i**降序排列; 各买家的资源需求数 $a_{i,bl_i(x)}$ 存入列表 **bq_i**。

(b) **SL**内 $a_{ij} \neq 0$ 的各卖家存入 **sl_i**; 计算 **sl_i**内第 y 个卖家的等效单价 $f_s(t_{sl_i(y)})us_{i,sl_i(y)}$, 并按其对 **sl_i**升序排列; 各卖家的资源提供数 $|a_{i,sl_i(y)}|$ 存入 **sq_i**。

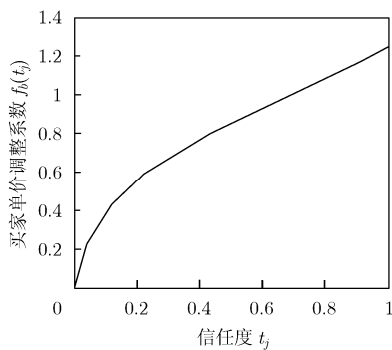


图 1 买家单价调整曲线图

(4)计算交易单价矩阵, $\mathbf{tu}_i(x, y)$ 表示 $\mathbf{bl}_i$ 内第 x 个买家与 $\mathbf{sl}_i$ 内第 y 个卖家对资源 i 的交易单价

$$\mathbf{tu}_i(x, y) = \frac{f_b(t_{\mathbf{bl}_i(x)})\mathbf{ub}_{i, \mathbf{bl}_i(x)} + f_s(t_{\mathbf{sl}_i(y)})\mathbf{us}_{i, \mathbf{sl}_i(y)}}{2} \quad (17)$$

(5)以 $\mathbf{allo}_i(g, h)$ 与 $\mathbf{pric}_i(g, h)$ 表示 $\mathbf{BL}$ 内第 g 个买家与 $\mathbf{SL}$ 内第 h 个卖家对资源 i 的交易数量与价格 ($\mathbf{allo}_i$ 与 $\mathbf{pric}_i$ 都为 $\text{nb} \times \text{ns}$ 矩阵), 分别处理各类资源 (初值 $i = 1, x = 1, y = 1$):

(a)以 y 存储 $\mathbf{sq}_i$ 内第 1 个非零值的位置; 查询出 $\mathbf{bl}_i$ 内第 x 个买家对应 $\mathbf{BL}$ 内第 g 个买家, $\mathbf{sl}_i$ 内第 y 个卖家对应 $\mathbf{SL}$ 内第 h 个卖家;

(b)if $\mathbf{sq}_i(y) \geq \mathbf{bq}_i(x)$
 $\mathbf{allo}_i(g, h) = \mathbf{allo}_i(g, h) + \mathbf{bq}_i(x)$, $\mathbf{pric}_i(g, h)$
 $= \mathbf{pric}_i(g, h) + \mathbf{bq}_i(x) \cdot \mathbf{tu}_i(x, y)$, $\mathbf{sq}_i(y)$
 $= \mathbf{sq}_i(y) - \mathbf{bq}_i(x)$, $\mathbf{bq}_i(x) = 0$, 转(c)

else

$\mathbf{allo}_i(g, h) = \mathbf{allo}_i(g, h) + \mathbf{sq}_i(y)$, $\mathbf{pric}_i(g, h)$
 $= \mathbf{pric}_i(g, h) + \mathbf{sq}_i(y) \cdot \mathbf{tu}_i(x, y)$, $\mathbf{bq}_i(x) =$
 $\mathbf{bq}_i(x) - \mathbf{sq}_i(y)$, $\mathbf{sq}_i(y) = 0$, 转(a)

(c)若到达 $\mathbf{bl}_i$ 终点则转(d); 否则转(a)处理 $\mathbf{bl}_i$ 下一个买家

(d)若各类资源都处理完则退出, 否则转(a)处理下一类资源 ($i = i + 1, x = 1, y = 1$)

(6)GMA 将 $\mathbf{allo}_i$ 与 $\mathbf{pric}_i$ 通知各买家与卖家。各买家所付总费用 $\mathbf{tpb}$ 与各卖家收取的总费用 $\mathbf{tps}$ 由式(18)求得

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{tpb}(g) &= \sum_{i=1}^k \sum_{h=1}^{\text{ns}} \mathbf{pric}_i(g, h) \\ \mathbf{tps}(h) &= \sum_{i=1}^k \sum_{g=1}^{\text{nb}} \mathbf{pric}_i(g, h) \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

5 仿真与分析

参照文献[9], 以 Matlab 软件对第 3, 4 节算法仿真, 以“效用”评估其性能。设交易中有 3 类资源, 7 个用户(节点标号 1-7)和 9 个资源提供者(节点标号 8-16)。各节点的 $\mathbf{u}_j$, $\mathbf{a}_j$ 及 t_j 如表 1 所示。用户各类资源的 u_{ij} 分别为 50-54, 8-12 和 3-7 间的整数值, a_{ij} 为 1-6 间的整数值; 资源提供者的 u_{ij} 分别为 48-52, 6-10 和 1-5 间的整数值, a_{ij} 为 -4~1 间的整数值。

5.1 组合双向拍卖中以平均价格定价和以单价定价的仿真比较

为验证第 3 节算法的有效性, 参照文献[10], 先不考虑信任度的影响, 而仅以组合双向拍卖模型, 分别基于 $\mathbf{mp}_j$ 和 $\mathbf{u}_j$ 对表 1 正常节点(恶意节点 5, 10 除外)进行资源分配与定价。仍参照文献[9]定义 $\mathbf{a}_j$ 的总效用: 买家效用=报价-交易价格, 卖家效用=交

易价格-报价。获胜节点(4 与 15 竞拍失败)分别以 $\mathbf{u}_j$ 和 $\mathbf{mp}_j$ 定价所得效用如表 2, 表 3 所示。

表 1 各节点数据

标号	$\mathbf{u}_j$	$\mathbf{a}_j$	t_j
1	(51, 10, 4)	(3, 4, 1)	0.80
2	(50, 8, 3)	(4, 3, 2)	0.66
3	(54, 12, 7)	(2, 3, 6)	0.85
4	(52, 9, 5)	(2, 2, 3)	0.77
5	(51, 9, 4)	(3, 6, 4)	0.10
6	(53, 9, 6)	(3, 5, 4)	0.75
7	(52, 11, 5)	(2, 2, 3)	0.90
8	(48, 7, 1)	(-3, -2, -2)	0.68
9	(50, 8, 2)	(-2, -3, -2)	0.78
10	(50, 10, 4)	(-3, -3, -4)	0.15
11	(49, 6, 3)	(-2, -3, -1)	0.89
12	(51, 9, 4)	(-2, -1, -4)	0.73
13	(48, 9, 3)	(-3, -1, -3)	0.85
14	(52, 10, 5)	(-1, -3, -2)	0.82
15	(51, 8, 2)	(-4, -3, -2)	0.75
16	(49, 7, 4)	(-1, -4, -2)	0.83

表 2 买家效用比较

节点标号	3	6	7	1	2
$\mathbf{u}_j$ 效用	30.0	14.0	9.0	8.5	-7.0
$\mathbf{mp}_j$ 效用	-32.1	-4.9	5.1	33.6	52.8
$\mathbf{u}_j$ 均值	24.3	22.7	22.7	21.7	20.3
$\mathbf{mp}_j$	16.9	19.0	20.1	24.6	25.6

表 3 卖家效用比较

节点标号	8	11	13	16	9	12	14
$\mathbf{u}_j$ 效用	18.5	13.5	12.0	9.0	7.0	0.5	-6.0
$\mathbf{mp}_j$ 效用	-17.1	-0.2	-20.8	46.5	8.7	11.3	26.1
$\mathbf{u}_j$ 均值	18.7	19.3	20.0	20.0	20.0	21.3	22.3
$\mathbf{mp}_j$	22.9	19.8	23.1	12.1	18.3	18.1	15.3

分析可知: (1)根据效用的定义, 效用误差等于交易价格误差。相比基于真实 $\mathbf{u}_j$ 的定价结果, 多数节点以 $\mathbf{mp}_j$ 定价所得误差较大(如买家 3 达 62.1), 仅少数在可接受范围(如节点 7, 9)。(2)个人理性方面 $\mathbf{u}_j$ 优于 $\mathbf{mp}_j$ 定价。前者仅节点 2, 14 为负效用, 而后者有 2 个买家, 3 个卖家为负效用。(3)应以 $\mathbf{u}_j$ 而非 $\mathbf{mp}_j$ 衡量价格竞争力。例如 $\mathbf{a}_8$ 高价资源比重大而 $\mathbf{a}_{12}$ 低价资源比重大, $\mathbf{mp}_8 > \mathbf{mp}_{12}$; 但卖家 8 各类资源的单价都低于卖家 12。因此 $\mathbf{mp}_j$ 并不能准确反映价格高低。(4)激励机制方面 $\mathbf{u}_j$ 优于 $\mathbf{mp}_j$ 定价。文献[9]的效用虽能激励卖家降低或买家提高 $\mathbf{mp}_j$, 但 $\mathbf{mp}_j$ 无法真实体现价格竞争力, 因此应以总效用

与 u_j (这里以均值 $\sum_{i=1}^k u_{ij}/k$ 比较 u_j 大小) 的关系评价激励效果。基于 u_j 定价时, 表 2 各买家效用随 u_j 降低而降低, 表 3 各卖家效用随 u_j 升高而降低, 即激励买家提高和卖家降低各类资源的单价。而基于 mp_j 定价时, 买家效用反而随 u_j 降低而升高, 卖家效用随 u_j 升高而有升高趋势, 对价格造成错误激励。

5.2 基于组合双向拍卖和信任的资源分配与定价算法仿真

以 4.3 节流程对表 1 节点仿真 (T_0 取 0.7, ε 取 0.05), 结果如下: (1) 恶意用户 5 等效报价较低, 恶意资源提供者 10 等效报价较高, 均无法进入交易, 表明 4.2 节算法可有效阻止恶意节点。(2) 正常节点除 4, 15 竞拍失败, 其它 12 个一次性完成 3 类资源交易, 效率较高。(3) 4.1 节算法的激励机制, 应以效用与 $f(t_j)u_{ij}$ 的关系评价。 $f(t_j)u_{ij}$ 为各类资源价格与信任度综合竞争力的单位评价, 因此该效用也应各类资源分别计算、可综合衡量价格效用与信任效用、是单位值:

$$\left. \begin{aligned} Hb_{ij} &= [f_b(t_j)ub_{ij}a_{ij} - tpb_{ij}]/a_{ij} \\ Hs_{ij} &= [tps_{ij} - f_s(t_j)us_{ij}]/a_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Hb_{ij} , Hs_{ij} 分别为买家与卖家第 i 类资源的单位效用, tpb_{ij} 为买家 j 第 i 类资源所付总费用, tps_{ij} 为卖家 j 第 i 类资源收取的总费用, 由 4.3 节的 $pric_i$ 求

得。所得买家和卖家各类资源的效用如图 2 所示。横轴为节点标号, 灰色立方图为等效单价 $f_b(t_j)ub_{ij}$ 或 $f_s(t_j)us_{ij}$, 黑色立方图为 Hb_{ij} 或 Hs_{ij} 。对任一类资源, 各买家按 $f_b(t_j)ub_{ij}$ 降序排列, Hb_{ij} 随 $f_b(t_j)ub_{ij}$ 降低而降低, 如第 1 类资源中买家 3, 7, 1, 6, 2 的 $f_b(t_j)ub_{ij}$ 分别为 60.019, 59.817, 54.945, 54.760, 48.533, 其 Hb_{ij} 为 9.000, 8.584, 5.141, 3.522, -0.379。各卖家按 $f_s(t_j)us_{ij}$ 升序排列, Hs_{ij} 随 $f_s(t_j)us_{ij}$ 升高而降低。可见该效用能有效激励买家提高等效单价, 卖家降低等效单价。

为进一步验证算法的有效性, 随机生成 2000 个节点进行仿真。1200 个资源提供者与 800 个用户内, 各含 20% 恶意节点。恶意节点的 t_j 为 $[0, 0.4]$ 上的均匀分布; 正常节点的 t_j 为均值 $\mu = 0.8$, 标准差 $\sigma = 0.0775$ 的正态分布 (保证 t_j 以 0.99 的概率落在区间 $[0.6, 1]$)。交易中有 3 类资源, 用户的 u_{ij} 分别为 53~58, 23~28 和 4~9 间的整数值, a_{ij} 为 1~6 间的整数值; 资源提供者的 u_{ij} 分别为 50~55, 20~25 和 1~6 间的整数值, a_{ij} 为 -4~1 间的整数值。 $T_0 = 0.8$, $\varepsilon = 0.05$ 。重复仿真 100 次, 结果如下: (1) 历次结果中, 成功交易节点的 t_j 最小值为 0.608, 无恶意节点。某次仿真各交易节点的 t_j 如图 3 所示, 横轴为 **B1** 或 **S1** 内各节点, 纵轴为其 t_j , 多数集中于 0.8 附近。(2) 历次交易率 (交易节点数与正常节点数之比) 的均值为 80.7%, 效率较高。(3) 某次仿真的效用如图 4 所

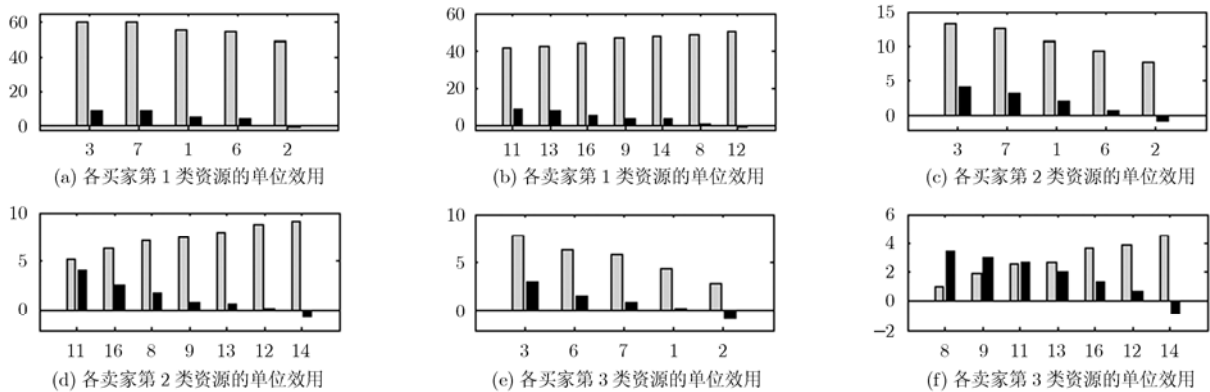


图2 表1各节点的单位效用图

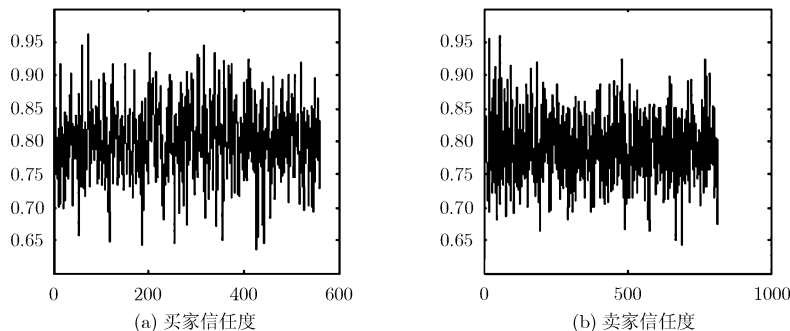


图3

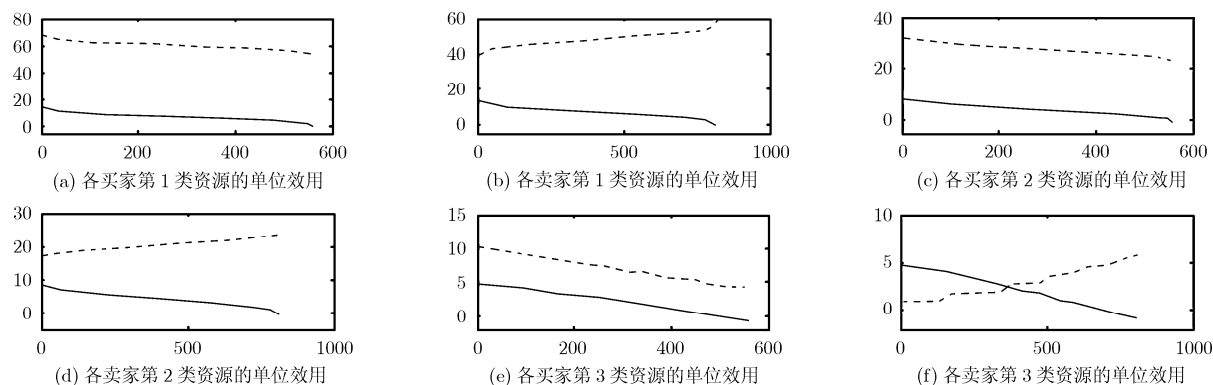


图4 大规模仿真的单位效用图

示。实线为各节点的单位效用,虚线为其等效单价,横轴为按 $f_b(t_j)ub_{ij}$ 降序排列的各买家或按 $f_s(t_j)us_{ij}$ 升序排列的各卖家。可见 Hb_{ij} 随 $f_b(t_j)ub_{ij}$ 降低而降低, Hs_{ij} 随 $f_s(t_j)us_{ij}$ 升高而降低,进一步验证该效用可有效激励买家提高和卖家降低其等效单价。

6 结论

分析与仿真表明,本文基于各类资源单价进行组合双向拍卖的算法优于文献[9]。本文所提基准信任度下的等效报价算法,在网格资源分配与定价中能有效防范恶意节点,激励正常节点提高其综合竞争力,交易效率较高。

参考文献

- [1] Chandrashekar T S, Narahari Y, and Rosa C H, *et al.* Auction-based mechanisms for electronic procurement [J]. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2007, 4 (3): 297-321.
- [2] Xia M, Stallaert J, and Whinston A B. Solving the combinatorial double auction problem [J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 164(1): 239-251.
- [3] Ma J and Orgun M A. Trust management and trust theory revision [J]. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics-Part A: System and Human*, 2006, 36(3): 451-460.
- [4] Vijayakumar V and WahidhaBanu R S D. Trust and reputation aware security for resource selection in grid computing [C]. 2008 International Conference on Security Technology Proceedings, Sanya, China, Dec. 13-15, 2008: 121-124.
- [5] Yuan L, He Z, and Zeng G. A resource trade model based on trust evaluation for grid computing [C]. 2007 IFIP International Conference on Network and Parallel Computing Proceedings, Dalian, China, Sep. 18-21, 2007: 506-511.
- [6] Esther D, Rina A S, and Sarit K. Protocols and strategies for automated multi-attributes auctions [C]. The 1st Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems Proceedings, Bologna, Italy, 2002: 77-85.
- [7] Liu Y and He H. Multi-unit combinatorial auction based grid resource co-allocation approach [C]. The 3rd International Conference on Semantics, Knowledge and Grid Proceedings, Xi'an, China, Oct. 29-31, 2007: 290-293.
- [8] Tan Z and Gurd J R. Market-based grid resource allocation using a stable continuous double auction [C]. The 8th Grid Computing Conference Proceedings, Texas, USA, Sep. 19-21, 2007: 283-290.
- [9] 李立, 刘元安, 马晓雷. 基于组合双向拍卖的网格资源分配[J]. 电子学报, 2009, 37(1): 165-169.
- [10] Li L, Liu Y, and Ma X. Grid resource allocation based on the combinatorial double auction [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2009, 37(1): 165-169.
- [11] 杨明, 刘元安, 马晓雷等. 基于加权平均的网格资源分配与定价[J]. 北京邮电大学学报, 2009, 32(6): 9-13.
- [12] Yang M, Liu Y, and Ma X, *et al.* Grid resource allocation-pricing based on weighted average[J]. *Journal of Beijing University of posts and Telecommunications*, 2009, 32(6): 9-13.
- [13] Patel J. A trust and reputation model for agent-based virtual organizations [D]. [Ph.D. dissertation], University of Southampton, 2007.

杨 明: 男, 1981 年生, 博士生, 从事网格计算、资源管理等研究。

刘元安: 男, 1963 年生, 教授, 博士生导师, 从事移动通信、网格、信息安全等研究。

马晓雷: 男, 1977 年生, 博士, 从事 Ad hoc 网络、分布式系统等研究。