



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110544147 B

(45) 授权公告日 2022.03.25

(21) 申请号 201910718712.X

G06Q 30/08 (2012.01)

(22) 申请日 2019.08.05

G06F 9/50 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110544147 A

(56) 对比文件

CN 109391681 A, 2019.02.26

US 2016098794 A1, 2016.04.07

(43) 申请公布日 2019.12.06

CN 109600849 A, 2019.04.09

(73) 专利权人 西北工业大学  
地址 710072 陕西省西安市碑林区友谊西路127号

Yanlin Yue. 多任务跨服务器双重拍卖移动边缘计算中的资源分配.《ICC2019》.2019,

审查员 江梓琴

(72) 发明人 刘家佳 孙文 郭鸿志 张海宾  
宋强 岳燕林

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 李红霖

(51) Int. Cl.

G06Q 30/06 (2012.01)

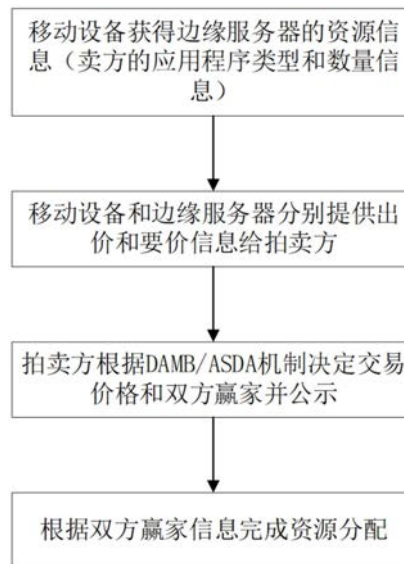
权利要求书3页 说明书14页 附图9页

(54) 发明名称

一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法

(57) 摘要

本发明公开了一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法,包括:采集卖方的每个边缘服务器部署的应用程序的类型和数量信息,并确定卖方的每个边缘服务器处理单一任务的要价信息;采集买方的每个移动设备待处理任务的类型、数量以及最大容忍时延信息;并确定买方的每个移动设备中的每个待处理任务的出价信息;将要价信息和出价信息仅公开给拍卖方,拍卖方根据价格策略确定价格及双方赢家,根据双方赢家信息完成资源分配;价格策略为基于盈亏平衡点的双向拍卖机制或应用分离的双向拍卖机制。本发明的多任务跨服务器资源分配方法具有较高的系统效率。



1. 一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法,其特征在于,

来自同一个移动设备的不同类型的任务能够跨服务器卸载到不同的服务器上,每个边缘服务器能够并行处理不同类型的任务;

基于的系统包括:参与者包括卖方、买方和拍卖方;卖方为m个边缘服务器,买方为n个移动设备,边缘服务器资源为商品;拍卖方为独立可信任的第三方服务器;边缘服务器的集合表示为 $M = \{1, 2, \dots, j, \dots, m\}$ ,其中,j表示第j个边缘服务器;移动设备的集合表示为 $N = \{1, 2, \dots, i, \dots, n\}$ ,其中,i表示第i个移动设备;

采集卖方的每个边缘服务器部署的应用程序的类型和数量信息,并确定卖方的每个边缘服务器处理单一任务的要价信息;采集买方的每个移动设备待处理任务的类型、数量以及最大容忍时延信息;并确定买方的每个移动设备中的每个待处理任务的出价信息;

将要价信息和出价信息仅公开给拍卖方,拍卖方根据价格策略确定价格及双方赢家,根据双方赢家信息完成资源分配;

其中,价格策略为基于盈亏平衡点的双向拍卖机制或应用分离的双向拍卖机制;

卖方的应用程序类型和数量信息通过应用指标矩阵表示,表达式为: $R = (R^1; R^2; \dots; R^j; \dots; R^m)$ ,

其中,第j行就是卖方第j个边缘服务器的应用指标向量,表达式为:

$$R^j = (r_{j,1}, r_{j,2}, \dots, r_{j,k}),$$

其中, $r_{j,k}$ 表示第j个边缘服务器是否部署第k种应用;如果第j个边缘服务器部署有第k种应用,则 $r_{j,k} = 1$ ,否则, $r_{j,k} = 0$ ;

买方的待处理任务信息通过任务指标矩阵表示,表达式为:

$$Q = (Q^1; Q^2; \dots; Q^i; \dots; Q^n),$$

其中, $Q^i$ 为第i行就是第i个移动设备的任务指标向量,表达式为: $Q^i = (q_{i,1}, q_{i,2}, \dots, q_{i,k})$ ,

其中, $q_{i,k}$ 表示第i个移动设备是否有第k种待处理任务,如果第i个移动设备有第k种待处理任务,则 $q_{i,k} = 1$ ,否则, $q_{i,k} = 0$ ;

要价信息根据服务器的计算能力以及所请求任务类型的剩余资源数量定价;出价信息根据移动设备距离服务器所属基站的距离以及信道状态信息定价;

买方的出价信息通过投标价格矩阵表示,表达式为:

$$B = (B^1; B^2; \dots; B^i; \dots; B^n),$$

其中, $B^i$ 为第i行就是买方第i个移动设备的投标价格向量,表达式为: $B^i = (b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,m})$ ,

其中, $b_{i,m}$ 是买方i对于单一待处理任务愿意付给卖方m的投标价格;如果卖方m没有部署买方i所需的应用,则 $b_{i,m} = 0$ ;

卖方的要价通过卖方要价向量表示,表达式为:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m),$$

其中, $a_j$ 表示卖方j处理单一任务的要价;

所述资源分配方法的目标是在IR、TF、BB和延迟的约束条件下,最大限度地增加中标者的数量,模型表达式为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max |N_{\omega}| \\ \text{s.t. } \forall i \in N, j \in M, u_{i,j}^b \geq 0, u_{i,j}^s \geq 0 \\ \forall i \in N, j \in M, b_{i,j} = v_{i,j}, a_j = \text{cost}_j \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (u_{i,j}^b - u_{i,j}^s) \geq 0 \\ \forall q_{i,k} = 1, r_{j,k} = 1, t_k \leq \tau_{i,k} \end{array} \right.$$

其中,  $N_{\omega}$  是买方赢家集,  $i$  表示买方,  $N$  是买方集合,  $j$  是卖方,  $M$  是卖方集合,  $u_{i,j}^b$  是买方  $i$  从卖方  $j$  处得到的效用,  $u_{i,j}^s$  是卖方  $j$  从买方  $i$  处得到的效用,  $b_{i,j}$  是买方  $i$  对于单一待处理任务愿意付给卖方  $j$  的投标价格,  $v_{i,j}$  是卖方  $j$  对买方  $i$  提供的服务的估价,  $a_j$  是表示卖方  $j$  处理单一任务的要价,  $\text{cost}_j$  是卖方  $j$  处理单个任务的花销,  $q_{i,k}$  表示第  $i$  个移动设备是否有第  $k$  种待处理任务,  $r_{j,k}$  表示第  $j$  个边缘服务器是否部署第  $k$  种应用,  $t_k$  是任务  $k$  在边缘服务器上的处理时延,  $\tau_{i,k}$  是买方  $i$  对第  $k$  种任务的最大容忍时延;

IR 为个体合理性: 每个移动设备如果获得了边缘服务器的服务, 其要付的价格不会高于它的投标价格, 每个边缘服务器得到的报酬不会低于报价;

TF 为真实性: 对所有的交易方基于他们真实的估价和资源的花销来提交投标价格或者要价是最佳策略, 提交虚假的投标价格或者要价对交易双方而言, 不仅无法产生额外收入而且会降低效用;

BB 为预算平衡: 所有买方支付的总价大于或等于所有卖方收到的报酬;

SE 为系统效率: 拍卖结束时, 尽可能多的买家获得了所需的服务;

基于盈亏平衡点的双向拍卖机制具体包括以下步骤:

(1) 候选人决定阶段;

(1.1) 按升序对  $A$  中的元素排序, 得到新的向量  $A'$ , 然后取  $A'$  中元素的中位数作为盈亏平衡点  $a_{q_{\mu}}$ ;

(1.2) 删除  $A'$  中大于等于  $a_{q_{\mu}}$  的所有元素,  $A'$  的剩余部分为边缘服务器候选人集  $A_c$ ; 将不满足延迟约束的任务对应的投标价格设置为 0;

(1.3) 按降序对  $B$  中的元素排序, 形成一个新的向量  $B'$ ; 移除  $B'$  中所有小于  $a_{q_{\mu}}$  的元素,  $B'$  的剩余部分为投标候选人集  $B_c$ ;

(2) 价格和赢家决定阶段;

将资源分配给与  $B_c$  中的最高出价  $b_{i,j}$  所对应的移动设备; 只要卖方  $j$  能处理买方  $i$  的任务, 任务将被卸载到卖方  $j$  进行处理; 其中, 使用剩余买方中最大的出价作为买方  $i$  的价格  $b_{u,j}$  ( $u \neq i$ ) 来卸载任务,  $b_{u,j}$  作为对卖方  $j$  所有出价中最高丢标出价;

以同样的方式操作  $B_c$  的其余部分, 得到买方赢家集合  $N_{\omega}$  和相应的投标价格集  $P^b$ ;

对于  $\forall a_i \in A_c$ , 如果没有买方对卖方  $c$  的投标, 则从  $A_c$  中将  $a_i$  删除,  $A_c$  中其余部分对应的卖方为卖方赢家集  $M_{\omega}$ , 每个中标卖方的报酬为  $a_{q_{\mu}}$ ;

如果对于卖方  $j$  的资源只有一个满足条件的买方, 则交易直接失败;

应用分离的双向拍卖机制的具体步骤包括:

S1, 按升序对  $A$  中的元素排序, 得到新的向量  $A' = (a_{q_1}, a_{q_2}, \dots, a_{q_m})$ ; 将不满足延迟限制的任务对应的投标设置为 0;

S2, 卖方 $q_1$ 对应的要价为 $a_{q_1}$ ; 随机挨个拍卖卖方 $q_1$ 边缘服务器中部署的App1; 从B中取出买方中所有对卖方 $q_1$ App1的投标, 形成一个新的向量 $B_1^{q_1}$ ;  $B_1^{q_1}$ 中第二大的投标是最高丢标出价;  $B_1^{q_1}$ 中出价最高的买方为中标人买方 $i$ , 拍卖方将最高丢标出价视为中标人支付的价格和卖方收到的报酬, 表达式为:

$$p_{i,q_1,1}^b = p_{q_1,1}^s = \text{最高丢标价格},$$

其中,  $p_{i,q_1,1}^b$ 是买方 $i$ 需要支付给卖方 $q_1$ 处理App1的价格,  $p_{q_1,1}^s$ 是卖方 $q_1$ 收到的付款;

以同样的方式拍卖卖方 $q_1$ 边缘服务器中剩余的其它App;

S3, 通过步骤S2的方式遍历 $A'$ 中的元素, 获得买方赢家集 $N_\omega$ , 卖方赢家集 $M_\omega$ , 卖方赢家的报酬集 $P^s$ , 买方赢家的投标价格集 $P^b$ , 配置矩阵 $G$ ;

其中, 拍卖失败的情况包括:

没有买方购买App资源;

所有买方的投标价格均低于卖方App的要价;

只有一个买方参与购买该App资源, 无最高丢标出价;

最高丢标出价低于卖方App的要价。

2. 根据权利要求1所述的一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法, 其特征在于, 移动设备中的每个待处理任务均为只能在一台边缘服务器上处理的单个任务; 所有待处理任务均可独立地卸载; 每个待处理任务的最大容忍时延均小于将该待处理任务卸载到远程云计算中心进行处理的时延。

3. 根据权利要求1所述的一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法, 其特征在于, 拍卖方确定的信息包括:

卖方赢家集 $M_\omega \subseteq M$ , 卖方赢家集为被买方成功购买资源的卖方集合;

买方赢家集 $N_\omega \subseteq N$ , 买方赢家集为成功买到边缘服务器资源的买方集合;

$M_\omega$ 与 $N_\omega$ 间的映射 $\phi$ , 映射 $\phi$ 为 $M_\omega$ 与 $N_\omega$ 间对应匹配关系;

配置矩阵 $G$ , 通过 $G$ 能够找到买方 $i$ 被卖方 $j$ 处理的任务数量;

买方赢家的投标价格集 $P^b \subseteq N_\omega$ , 卖方赢家的报酬集 $P^s \subseteq M_\omega$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法, 其特征在于, 买方 $i$ 无法得到服务和 $b_{i,j}$ 直接被忽略的情况包括:

(1)  $a_j \notin A_c$ , 即卖方 $j$ 已被删除并未参与拍卖;

(2) 卖方 $j$ 的资源已经被用竭;

(3) 买方 $i$ 所有的任务均已被卸载;

(4)  $b_{i,j} = 0$ 。

## 一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于移动边缘计算资源分配技术领域,特别涉及一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法。

### 背景技术

[0002] 移动边缘计算(Mobile Edge Computing,MEC)是一种新兴的计算体系结构,其通过移动增强型和小规模的数据中心即边缘服务器,可为移动设备(Mobile device,MD)提供低延迟和高可靠性的计算服务。由于资源的限制,在一台边缘服务器上只能部署有限数量的App。一个MD可能同时会有多个不同的应用需求,而最近的边缘服务器可能无法满足其需求。若将多个任务卸载到其他边缘服务器,不仅解决了单个边缘服务器无法满足MD需求的问题,而且可以合理利用边缘服务器的资源,提高系统效率。边缘服务器可以相互合作,为各种MEC应用程序上的MD提供服务,如增强现实、媒体传输。

[0003] 从经济角度看,MD和边缘服务器属于不同的利益相关者,它们的行为是利润驱动的,边缘服务器可能不愿意在没有利润的情况下共享资源。当一个MD的多个任务分配到不同服务器之间时,如何同时平衡多个服务器和MD之间的效益是一个关键问题。

[0004] 在经济领域,拍卖是一种非常常见的交易方式,它可以在保证买卖双方都能盈利的同时,以合理的价格向买方有效地销售市场上的商品。鉴于上述卓越特性,拍卖理论已被应用于无线网络中的频谱拍卖、在线广告拍卖等领域。

[0005] 已存在一些前人的工作将拍卖理论应用于资源分配。有研究人员提出两种激励性双向拍卖机制TIM和EDA。TIM选择任务的中位数作为盈亏平衡点,大于或等于中位数的任务将被取消;因此,一半的边缘服务器将在拍卖中失败。EDA不选择中间价作为盈亏平衡点,它首先按降序对买家的投标进行排序,然后按升序对卖家的要价进行排序,再根据排列顺序逐一检查匹配成对。TIM保证买卖双方都有很强的真实性,而EDA实现了相当高的系统效率,但只对卖方满足真实性。但是目前的方法只适用于单一服务器任务资源分配,不适用于跨服务器的资源分配,系统效率较低;当前基站覆盖区域内可能人数多(如商务楼宇集中地),MEC业务请求多,而其相邻基站的业务负荷可能很小,若多基站边缘服务器可配合组成一个系统,则可有效服务更多MEC业务请求,即可提高系统效率。

[0006] 综上,亟需一种可用于MEC中的多任务跨服务器资源分配方法。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法,以解决上述存在的一个或多个技术问题。本发明是一种可用于MEC中的基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法,具有较高的系统效率。

[0008] 为达到上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0009] 一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法,

[0010] 来自同一个移动设备的不同类型的任务能够跨服务器卸载到不同的服务器上,每

个边缘服务器能够并行处理不同类型的任务；

[0011] 基于的系统包括：参与者包括卖方、买方和拍卖方；卖方为 $m$ 个边缘服务器，买方为 $n$ 个移动设备，边缘服务器资源为商品；拍卖方为独立可信任的第三方服务器；边缘服务器的集合表示为 $M = \{1, 2, \dots, j, \dots, m\}$ ，其中， $j$ 表示第 $j$ 个边缘服务器；移动设备的集合表示为 $N = \{1, 2, \dots, i, \dots, n\}$ ，其中， $i$ 表示第 $i$ 个移动设备；

[0012] 采集卖方的每个边缘服务器部署的应用程序的类型和数量信息，并确定卖方的每个边缘服务器处理单一任务的要价信息；采集买方的每个移动设备待处理任务的类型、数量以及最大容忍时延信息；并确定买方的每个移动设备中的每个待处理任务的出价信息；

[0013] 将要价信息和出价信息仅公开给拍卖方，拍卖方根据价格策略确定价格及双方赢家，根据双方赢家信息完成资源分配；

[0014] 其中，价格策略为基于盈亏平衡点的双向拍卖机制或应用分离的双向拍卖机制。

[0015] 本发明的进一步改进在于，步骤1中，移动设备中的每个待处理任务均为只能在一台边缘服务器上处理的单个任务；所有待处理任务均可独立地卸载；每个待处理任务的最大容忍时延均小于将该待处理任务卸载到远程云计算中心进行处理的时延。

[0016] 本发明的进一步改进在于，步骤1中，卖方的应用程序类型和数量信息通过应用指标矩阵表示，表达式为： $R = (R^1; R^2; \dots; R^j; \dots; R^m)$ ，

[0017] 其中，第 $j$ 行就是卖方第 $j$ 个边缘服务器的应用指标向量，表达式为：

[0018]  $R^j = (r_{j,1}, r_{j,2}, \dots, r_{j,k})$ ，

[0019] 其中， $r_{j,k}$ 表示第 $j$ 个边缘服务器是否部署第 $k$ 种应用；如果第 $j$ 个边缘服务器部署有第 $k$ 种应用，则 $r_{j,k} = 1$ ，否则， $r_{j,k} = 0$ ；

[0020] 步骤1中，买方的待处理任务信息通过任务指标矩阵表示，表达式为：

[0021]  $Q = (Q^1; Q^2; \dots; Q^i; \dots; Q^n)$ ，

[0022] 其中，第 $i$ 行就是第 $i$ 个移动设备的任务指标向量，表达式为：

[0023]  $Q^i = (q_{i,1}, q_{i,2}, \dots, q_{i,k})$ ，

[0024] 其中， $q_{i,k}$ 表示第 $i$ 个移动设备是否有第 $k$ 种待处理任务，如果第 $i$ 个移动设备有第 $k$ 种待处理任务，则 $q_{i,k} = 1$ ，否则， $q_{i,k} = 0$ 。

[0025] 本发明的进一步改进在于，要价信息根据服务器的计算能力以及所请求任务类型的剩余资源数量定价；出价信息根据移动设备距离服务器所属基站的距离以及信道状态信息定价。

[0026] 本发明的进一步改进在于，

[0027] 买方的出价信息通过投标价格矩阵表示，表达式为：

[0028]  $B = (B^1; B^2; \dots; B^n)$ ，

[0029] 其中，第 $i$ 行就是买方第 $i$ 个移动设备的投标价格向量，表达式为：

[0030]  $B^i = (b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,m})$ ，

[0031] 其中， $b_{i,m}$ 是买方 $i$ 对于单一待处理任务愿意付给卖方 $m$ 的投标价格；如果卖方 $m$ 没有部署买方 $i$ 所需的应用，则 $b_{i,m} = 0$ ；

[0032] 卖方的要价通过卖方要价向量表示，表达式为：

[0033]  $A = (a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m)$ ，

[0034] 其中， $a_j$ 表示卖方 $j$ 处理单一任务的要价。

[0035] 本发明的进一步改进在于,所述资源分配方法的目标是在IR、TF、BB和延迟的约束条件下,最大限度地增加中标者的数量,模型表达式为:

$$[0036] \quad \begin{cases} \max |N_\omega| \\ s. t. \quad \forall i \in N, j \in M, u_{i,j}^b \geq 0, u_{i,j}^s \geq 0 \\ \quad \forall i \in N, j \in M, b_{i,j} = v_{i,j}, a_j = c_j \\ \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (u_{i,j}^b - u_{i,j}^s) \geq 0 \\ \quad \forall q_{i,k} = 1, r_{j,k} = 1, t_k \leq \tau_{i,k} \end{cases}$$

[0037] 其中, $N_\omega$ 是买方赢家集, $i$ 表示买方, $N$ 是买方集合, $j$ 是卖方, $M$ 是卖方集合, $u_{i,j}^b$ 是买方 $i$ 从卖方 $j$ 处得到的效用, $u_{i,j}^s$ 是卖方 $j$ 从买方 $i$ 处得到的效用, $b_{i,j}$ 是买方 $i$ 对于单一待处理任务愿意付给卖方 $j$ 的投标价格, $v_{i,j}$ 是卖方 $j$ 对买方 $i$ 提供的服务的估价, $a_j$ 是表示卖方 $j$ 处理单一任务的要价, $c_j$ 是卖方 $j$ 处理单个任务的花销, $q_{i,k}$ 表示第 $i$ 个移动设备是否有第 $k$ 种待处理任务, $r_{j,k}$ 表示第 $j$ 个边缘服务器是否部署第 $k$ 种应用, $t_k$ 是任务 $k$ 在边缘服务器上的处理时延, $\tau_{i,k}$ 是买方 $i$ 对第 $k$ 种任务的最大容忍时延;

[0038] IR为个体合理性:每个移动设备如果获得了边缘服务器的服务,其要付的价格不会高于它的投标价格,每个边缘服务器得到的报酬不会低于报价;

[0039] TF为真实性:对所有的交易方基于他们真实的估价和资源的花销来提交投标价格或者要价是最佳策略,提交虚假的投标价格或者要价对交易双方而言,不仅无法产生额外收入而且会降低效用;

[0040] BB为预算平衡:所有买方支付的总价大于或等于所有卖方收到的报酬;

[0041] SE为系统效率:拍卖结束时,尽可能多的买家获得了所需的服务。

[0042] 本发明的进一步改进在于,拍卖方确定的信息包括:

[0043] 卖方赢家集 $M_\omega \subseteq M$ ,卖方赢家集为被买方成功购买资源的卖方集合;

[0044] 买方赢家集 $N_\omega \subseteq N$ ,买方赢家集为成功买到边缘服务器资源的买方集合;

[0045]  $M_\omega$ 与 $N_\omega$ 间的映射 $\phi$ ,映射 $\phi$ 为 $M_\omega$ 与 $N_\omega$ 间对应匹配关系;

[0046] 配置矩阵 $G$ ,通过 $G$ 能够找到买方 $i$ 被卖方 $j$ 处理的任务数量;

[0047] 买方赢家的投标价格集 $P^b \subseteq N_\omega$ ,卖方赢家的报酬集 $P^s \subseteq M_\omega$ 。

[0048] 本发明的进一步改进在于,基于盈亏平衡点的双向拍卖机制具体包括以下步骤:

[0049] (1) 候选人决定阶段;

[0050] (1.1) 按升序对 $A$ 中的元素排序,得到新的向量 $A'$ ,然后取 $A'$ 中元素的中位数作为盈亏平衡点 $a_{q_\mu}$ ;

[0051] (1.2) 删除 $A'$ 中大于等于 $a_{q_\mu}$ 的所有元素, $A'$ 的剩余部分为边缘服务器候选人集 $A_c$ ;将不满足延迟约束的任务对应的投标价格设置为0;

[0052] (1.3) 按降序对 $B$ 中的元素排序,形成一个新的向量 $B'$ ;移除 $B'$ 中所有小于 $a_{q_\mu}$ 的元素, $B'$ 的剩余部分为投标候选人集 $B_c$ ;

[0053] (2) 价格和赢家决定阶段;

[0054] 将资源分配给与 $B_c$ 中的最高出价 $b_{i,j}$ 所对应的移动设备;只要卖方 $j$ 能处理买方 $i$ 的任务,任务将被卸载到卖方 $j$ 进行处理;其中,使用剩余买方中最大的出价作为买方 $i$ 的价

格 $b_{u,j}$  ( $u \neq i$ ) 来卸载任务,  $b_{u,j}$  作为对卖方  $j$  所有出价中最高丢标出价;

[0055] 以同样的方式操作 $B_c$ 的其余部分, 得到买方赢家集合 $N_w$ 和相应的投标价格集 $P^b$ ;

[0056] 对于 $\forall a_c \in A_c$ , 如果没有买方对卖方  $c$  的投标, 则从 $A_c$ 中将 $a_c$ 删除,  $A_c$ 中其余部分对应的卖方为卖方赢家集 $M_w$ , 每个中标卖方的报酬为 $\alpha_{q\mu}$ ;

[0057] 如果对于卖方  $j$  的资源只有一个满足条件的买方, 则交易直接失败。

[0058] 本发明的进一步改进在于, 买方  $i$  无法得到服务和 $b_{i,j}$ 直接被忽略的情况包括:

[0059] (1)  $a_j \notin A_c$ , 即卖方  $j$  已被删除并未参与拍卖;

[0060] (2) 卖方  $j$  的资源已经被用竭;

[0061] (3) 买方  $i$  所有的任务均已被卸载;

[0062] (4)  $b_{i,j} = 0$ 。

[0063] 本发明的进一步改进在于, 应用分离的双向拍卖机制的具体步骤包括:

[0064] S1, 按升序对 $A$ 中的元素排序, 得到新的向量 $A' = (a_{q1}, a_{q2}, \dots, a_{qm})$ ; 将不满足延迟限制的任务对应的投标设置为0;

[0065] S2, 卖方 $q1$ 对应的要价为 $a_{q1}$ ; 随机挨个拍卖卖方 $q1$ 边缘服务器中部署的App1; 从 $B$ 中提取出买方中所有对卖方 $q1$ App1的投标, 形成一个新的向量 $B_1^{q1}; B_1^{q1}$ 中第二大的投标是最高丢标出价;  $B_1^{q1}$ 中出价最高的买方为中标人买方  $i$ , 拍卖方将最高丢标出价视为中标人支付的价格和卖方收到的报酬, 表达式为:

[0066]  $p_{i,q1,1}^b = p_{q1,1}^s =$  最高丢标价格,

[0067] 其中,  $p_{i,q1,1}^b$ 是买方  $i$  需要支付给卖方  $q1$  处理App1的价格,  $p_{q1,1}^s$ 是卖方  $q1$  收到的付款;

[0068] 以同样的方式拍卖卖方 $q1$ 边缘服务器中剩余的其它App;

[0069] S3, 通过步骤S2的方式遍历 $A'$ 中的元素, 获得买方赢家集 $N_w$ , 卖方赢家集 $M_w$ , 卖方赢家的报酬集 $P^s$ , 买方赢家的投标价格集 $P^b$ , 配置矩阵 $G$ ;

[0070] 其中, 拍卖失败的情况包括:

[0071] 没有买方购买App资源;

[0072] 所有买方的投标价格均低于卖方App的要价;

[0073] 只有一个买方参与购买该App资源, 无最高丢标出价;

[0074] 最高丢标出价低于卖方App的要价。

[0075] 与现有技术相比, 本发明具有以下有益效果:

[0076] 目前的分配方法并未考虑到移动边缘计算中MD多任务的跨服务器需求。本发明的分配方法, 可实现多任务跨服务器资源分配, 能够最大化所服务移动设备的任务数量。本发明考虑了在位置感知约束下的多任务跨服务器资源分配场景, 每个移动设备可能需要卸载不同类型的应用, 因此要求边缘服务器部署相应类型的应用, 由于边缘服务器资源的有限性, 距离该移动设备最近的边缘服务器可能无法完全满足移动设备的卸载需求, 因此, 该移动设备需要将任务跨过距离其最近的服务器卸载到其他服务器上。本发明能有效解决买卖双方的利益冲突, 移动设备需要边缘服务器的计算与存储资源, 在无法获利的情况下, 边缘服务器不会贡献自己的资源, 而本发明所提出的机制通过给予边缘服务器可观的收益可以有效激励其贡献资源同时也确保了移动设备不会在买卖中亏损以免使移设备丧失卸载任



务的积极性;本发明的方法能够保证买卖双方都是有利可图的。本发明在多任务多服务器场景下能够获得比已有算法更高的系统效率,即有更多的来自移动设备的任务会被卸载到服务器上进行处理。

[0077] 本发明的方法采用了基于双向拍卖的定价及分配策略,其中DBDA机制通过设置盈亏补偿点对买卖双方都满足了真实性、预算平衡与个体合理性;在上述经济条件的约束之下,通过位置感知,移动设备可以发现距离最近的边缘服务器,如果该边缘服务器的计算与存储资源无法满足需求,则该移动设备将自己的任务通过该服务器中继到其他服务器上进行处理,也即在最近的服务器无法满足需求的情况下,DBDA机制允许移动设备跨过最近的服务器把任务卸载到其他服务器上进行处理来提高系统的效率。ASDA采用了类似的机制,只不过ASDA没有设置盈亏补偿点。因此,相比于DBDA,ASDA机制允许更多的边缘服务器与移动设备参与拍卖从而进一步提高了系统效率。

[0078] 进一步地,DBDA激励机制中卖方对服务的估价高于买方集合的中位数,卖方处理单个任务的花销低于买方集合的中位数,买方和卖方的效用均不低于0。

[0079] ASDA激励机制中胜出的买方的支付和卖方的报酬均为最高丢标出价,每个胜出的买方被收取不高于其出价的价格,而每个胜出的卖方从拍卖人那里得到不低于其要价的报酬。

[0080] DBDA激励机制中卖方对服务的估价高于最高丢标出价,卖方处理单个任务的花销低于最高丢标出价,买方和卖方的效用均不低于0。

[0081] 因此,DBDA和ASDA都是个体合理的,边缘服务器得到了足够的补偿,激励其分享资源。另一方面,MD得到所需的资源,支付的费用不超过这些资源的估值,MD也会被鼓励向边缘服务器请求服务。对于每一个成功的交易,买方支付价格总是大于或等于卖方的报酬。因此,在整个拍卖过程中,买方支付价格之和大于或等于卖方的报酬之和,DAMB和ASDA满足预算平衡。

[0082] 本发明中,DBDA机制对买卖双方均满足真实性,即买家和卖家没有虚报投标和报价的动机。如果买家虚报自己的投标或者卖家虚报自己的报价,那么根据DBDA机制,他们无法获得更高的利益,甚至会在交易中亏本。DADA除了满足真实性之外,还同时满足个体合理性与预算平衡。ASDA松弛了对卖家的真实性的要求,但可以获得比DBDA更高的系统效率,即可以服务更多的移动设备,ASDA也同时满足个体合理性与预算平衡。

## 附图说明

[0083] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图做简单的介绍;显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来说,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0084] 图1为本发明实施例中的一种MEC跨服务器资源分配体系示意图;

[0085] 图2为本发明实施例的分配方法同其它两种方法的总效益的比较示意图;

[0086] 图3为本发明实施例的分配方法同其它两种方法的系统效率的比较示意图;

[0087] 图4为本发明实施例中DAMB方法任务2的要价、报酬、价格和投标价格示意图;

[0088] 图5为本发明实施例中ASDA方法任务2的要价、报酬、价格和投标价格示意图;

- [0089] 图6为本发明实施例中DAMB方法投标价格与买方效用关系示意图；
- [0090] 图7为本发明实施例中DAMB方法要价与卖方效用关系示意图；
- [0091] 图8为本发明实施例中ASDA方法要价与卖方效用关系示意图；
- [0092] 图9为本发明实施例中的一种MEC中基于双向拍卖的多任务跨服务器资源分配方法的流程示意图。

### 具体实施方式

[0093] 为使本发明实施例的目的、技术效果及技术方案更加清楚，下面结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述；显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例。基于本发明公开的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的其它实施例，都应属于本发明保护的范围。

[0094] 请参阅图1，为方便叙述实施实例的具体实施方式，先进行模型背景的介绍。可以处理任务1和任务2的应用程序分别安装在服务器1中。我们将能够处理任务1的应用程序称为App1；同理，将能够处理任务2、任务3、…、任务k的应用程序对应称为App2、App3、…、Appk。部署应用程序后，每个MD需要对每个边缘服务器的资源进行投标，以便卸载其任务，同时能力有限的边缘服务器提交自己资源的要价。应该强调的是，同一个MD中的任务可以跨服务器卸载；利用现有的移动通信网络即可完成跨服务器的任务卸载（不同的边缘服务器位于不同的基站）。例如，App2没有部署在服务器2中，因此MD 3中的任务2只能跨服务器2卸载到服务器1。

[0095] 本发明实施例中假设有m个边缘服务器（卖方）和n个MD（买方）参与拍卖，边缘服务器的集合表示为 $M = \{1, 2, \dots, j, \dots, m\}$ ，其中j表示第j个边缘服务器，即卖方j。边缘服务器通常是轻量级的，能够处理计算密集型任务，但能力有限。因此，在每次拍卖开始时，每个边缘服务器都会公布其部署的应用程序的类型和数量。

[0096] 所有卖方的App部署信息表示卖方App indicator matrix为 $R = (R^1; R^2; \dots; R^j; \dots; R^m)$ ，其中第j行就是卖方j的App indicator vector。

[0097] 第j个边缘服务器的App indicator vector表示为 $R^j = (r_{j,1}, r_{j,2}, \dots, r_{j,k})$ ，其中 $r_{j,k}$ 指明服务器是否部署第k种App。如果卖方j部署有Appk，则 $r_{j,k} = 1$ ，否则， $r_{j,k} = 0$ 。

[0098] 所有卖方的要价可以表示为卖方要价向量 $A = (a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m)$ ，其中 $a_j$ 就是卖方j处理单一任务的要价。

[0099] MD的集合表示为 $N = \{1, 2, \dots, i, \dots, n\}$ 。每一个买方都有一个或多种类型的任务需要处理。

[0100] 所有买方的任务待处理信息表示买方Task indicator matrix为 $Q = (Q^1; Q^2; \dots; Q^i; \dots; Q^n)$ ，其中第i行就是买方i的Task indicator vector。

[0101] 第i个MD的Task indicator vector表示为 $Q^i = (q_{i,1}, q_{i,2}, \dots, q_{i,k})$ ，其中 $q_{i,k}$ 指明是否有第k种任务待处理。如果买方i有任务k待处理，则 $q_{i,k} = 1$ ，否则， $q_{i,k} = 0$ 。

[0102] 买方对每个任务都有一个最大的容忍时延，即如果在边缘服务器上处理的任务超过了相应的容忍时延，买方将不会为该任务投标。买方i的容限向量为 $\Gamma^i = (\tau_{i,1}, \tau_{i,2}, \dots, \tau_{i,k})$ ，其中 $\tau_{i,k}$ 是买方i对第k种任务的最大容忍时延。如果买方i没有任务k待处理， $\tau_{i,k} = 0$ 。假定将任务卸载到云端的时延为T，如果 $\tau_{i,k} > T$ ，则任务k将被卸载到远程云端，释放边缘服

务器的资源以便处理具有较低容忍时延的其它任务。所有买方的容忍时延信息表示为  $\Gamma = (\Gamma^1; \Gamma^2; \dots; \Gamma^n)$ 。

[0103] 由于不同的边缘服务器可能部署相同的App,因此买方在卸载任务时有多种选择。一般来说,买方更愿意将任务卸载到最近的边缘服务器。因此,对不同边缘服务器的出价将有所不同。

[0104] 买方i的投标价格向量表示为  $B^i = (b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,m})$ ,其中  $b_{i,m}$  是买方i对于单一任务愿意付给卖方m的投标价格。如果卖方m没有部署买方i所需的App,则  $b_{i,m} = 0$ 。

[0105] 所有MD的投标价格矩阵表示为  $B = (B^1; B^2; \dots; B^n)$ ,其中第i行就是买方i的投标价格向量。

[0106] 所有MD的任务具有以下特征:单个任务已不能再细分,即任何单个任务只能在一台服务器上处理;我们假设MD所有任务都可以独立地卸载,并且它们之间没有耦合,以便任务自由选择服务器。单个任务为不可再分割的单个任务,其特征为业务类型相同或相近、耦合度强的数据块。

[0107] 双向拍卖是一个交易商品的过程,在这个过程中,卖方提交他们的要价,买方同时提交他们的投标价格给拍卖方,然后拍卖方根据价格策略确定价格及双方赢家。本发明以边缘服务器为卖方,MD为买方,边缘服务器资源为商品。受信任的第三方充当拍卖方,确定赢家,向买方赢家提供资源,并为赢家集中的每个买方和每个卖方确定价格。

[0108] 对于买方i,  $Q^i, B^i$  和  $\Gamma^i$  需要提交给拍卖方;对于卖方j,  $R^j$  将向所有买家公开宣布,而要价  $a_j$  将提交给拍卖方。在拍卖过程中,A和B均为密封的,在拍卖结束前只有拍卖方知道有关交易的所有信息。

[0109] MEC资源优化分配的目标是在IR、TF、BB和延迟等约束条件下,最大限度地增加中标者的数量。即:

$$[0110] \quad \begin{cases} \max |N_\omega| \\ \text{s.t. } \forall i \in N, j \in M, u_{i,j}^b \geq 0, u_{i,j}^s \geq 0 \\ \forall i \in N, j \in M, b_{i,j} = v_{i,j}, a_j = c_j \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (u_{i,j}^b - u_{i,j}^s) \geq 0 \\ \forall q_{i,k} = 1, r_{j,k} = 1, t_k \leq \tau_{i,k} \end{cases}$$

[0111] 其中,  $N_\omega$  是买方赢家集, i 表示买方, N 是买方集合, j 是卖方, M 是卖方集合,  $u_{i,j}^b$  是买方i从卖方j处得到的效用,  $u_{i,j}^s$  是卖方j从买方i处得到的效用,  $b_{i,j}$  是买方i对于单一待处理任务愿意付给卖方j的投标价格,  $v_{i,j}$  是卖方j对买方i提供的服务的估价,  $a_j$  是表示卖方j处理单一任务的要价,  $c_j$  是卖方j处理单个任务的花销,  $q_{i,k}$  表示第i个移动设备是否有第k种待处理任务,  $r_{j,k}$  表示第j个边缘服务器是否部署第k种应用,  $t_k$  是任务k在边缘服务器上的处理时延,  $\tau_{i,k}$  是买方i对第k种任务的最大容忍时延。

[0112] 根据上述交易信息(如R, A, Q,  $\Gamma$ , B), 拍卖方确定以下关键信息:

[0113] (1) 卖方赢家集  $M_\omega \subseteq M$ : 被买方成功购买资源的卖方集合。

[0114] (2) 买方赢家集  $N_\omega \subseteq N$ : 成功买到边缘服务器资源的买方集合。

[0115] (3)  $M_\omega$  与  $N_\omega$  间的映射  $\phi: M_\omega$  与  $N_\omega$  间对应匹配关系。例如, 买方  $2 \in N_\omega$ , 卖方  $3 \in M_\omega$ 。如

果买方2的任务被卸载到卖方3,则有  $\phi(2) = 3$ 。

[0116] (4) 配置矩阵G:由  $\phi(2) = 3$ 可知买方2由卖方3服务。然而,并不知道买方有多少任务被卖家3服务。假定有2个任务被服务,则有  $g_{2,3} = 2 \in G$ ,即通过G,我们可以找到买方i被卖方j处理的任务数量。

[0117] (5) 买方赢家的投标价格集  $P^b \subseteq N_\omega$ ,卖方赢家的报酬集  $P^s \subseteq M_\omega$ 。如果  $\phi(2) = 3$ ,买家2需要支付  $p_{2,3}^b$ 给每个任务卸载并且卖方3将得到售卖App报酬  $p_3^s$ 。

[0118] 本发明提出两种双向拍卖激励机制,即基于盈亏平衡点的双向拍卖机制(DAMB)和应用分离双向拍卖机制(ASDA)。在这两种拍卖机制下,参与拍卖的各方均可获得收益。

[0119] 本发明中,DAMB激励机制步骤如下:候选人决定阶段和价格和赢家决定阶段。

[0120] 在候选人决定阶段,首先确定盈亏平衡点。具体的,按升序对A中的元素排序,得到新的向量A',然后取A'中元素的中位数作为盈亏平衡点  $a_{q_\mu}$ 。然后,删除A'中大于或等于  $a_{q_\mu}$ 的所有元素。A'的剩余部分是边缘服务器候选人集  $A_c$ ;另一方面,我们将不满足延迟约束的任务对应的投标价格设置为0;然后按降序对B中的元素排序,形成一个新的向量B'。然后我们移除B'中所有小于  $a_{q_\mu}$ 的元素。B'的剩余部分是投标候选人集  $B_c$ 。

[0121] 在价格和赢家决定阶段,由于  $B_c$ 中的第一个元素是最大的,所以我们首先将资源分配给与  $B_c$ 中的最高出价  $b_{i,j}$ 所对应的MD。只要卖方j能处理买方i的任务,任务将被卸载到卖方j进行处理。假设买方i的任务k被卸载到卖方j,然后我们找到  $B_c$ 中其他需要处理任务k的买方。这些买方是买方i的竞争对手,每个买方都对卖方j出价。我们使用剩余买方中最大的出价作为买方i的价格  $b_{u,j}$  ( $u \neq i$ ) 来卸载任务k。从上述分析中,我们知道  $b_{u,j}$ 是对卖方j所有出价中最高丢标出价。我们以同样的方式操作  $B_c$ 的其余部分。得到赢家集合  $N_\omega$ 和相应的投标价格集  $P^b$ 。对于  $\forall a_c \in A_c$ ,如果没有买方对卖方c的投标,则  $a_c$ 将从  $A_c$ 中删除。 $A_c$ 中其余部分对应的卖方为赢家  $M_\omega$ ,每个中标卖方的报酬为  $a_{q_\mu}$ 。如果对于卖方j的资源只有一个满足条件的买方,则交易直接失败。

[0122] 应注意买方i无法得到服务和  $b_{i,j}$ 直接被忽略在以下情况成立:

[0123] (1)  $a_j \notin A_c$ ,即卖方j已被删除并未参与拍卖。

[0124] (2) 卖方j的资源已经被用竭。

[0125] (3) 买方i所有的任务均已被卸载。

[0126] (4)  $b_{i,j} = 0$ 。

[0127] 本发明中,ASDA的核心思想是将每个边缘服务器上的App分开,分别拍卖每个App。ASDA激励机制步骤如下:

[0128] (1) 按升序对A中的元素排序,得到新的向量  $A' = (a_{q_1}, a_{q_2}, \dots, a_{q_m})$ ;将不满足延迟限制的任务对应的投标设置为0。

[0129] (2) 遍历A'中的元素:卖方  $q_1$ 对应的要价为  $a_{q_1}$ 。我们随机挨个拍卖卖方k中部署的App。例如,如果卖方  $q_1$ 部署了App1和App2,我们会随机选择一个App进行拍卖。如果我们先拍卖App1,需从买方出价矩阵B中提取出卖方中所有对卖方  $q_1$ App1的投标,形成一个新的向量  $B_1^{q_1}$ 。 $B_1^{q_1}$ 中出价最高的买方为中标人买方i。 $B_1^{q_1}$ 中第二大的投标是最高丢标出价。拍卖人将最高丢标出价视为中标人支付的价格和卖方收到的报酬,即  $p_{i,q_1,1}^b = p_{q_1,1}^s =$  最高丢标价格,其中  $p_{i,q_1,1}^b$ 是买方i需要支付给卖方  $q_1$ 处理App1的价格,  $p_{q_1,1}^s$

是卖方 $q_1$ 收到的付款。然后我们以同样的方式拍卖其它App。最后,我们将得到 $N_\omega, M_\omega, P^s, P^b, G$ 。

[0130] 此机制中,拍卖将在以下情况失败:

[0131] (1) 没有买方购买App资源。

[0132] (2) 所有买方的投标价格都低于卖方App的要价。

[0133] (3) 只有一个买方参与购买该App资源,无最高丢标出价。

[0134] (4) 最高丢标出价低于卖方App的要价。

[0135] 为了介绍本发明技术方案的的优点我们需要先介绍以下概念:

[0136] 1) 效用:为了决定价格和报酬,我们假定卖方 $j$ 对买方 $i$ 提供的服务的估价为 $v_{i,j}$ 。买方 $i$ 从卖方 $j$ 处得到的效用定义为如下:

$$[0137] \quad u_{i,j}^b = \begin{cases} (v_{i,j} - p_{i,j}^b) \times g_{i,j} & i \in N_\omega, j \in M_\omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

[0138] 应注意如果 $i \notin N_\omega$ 或者 $j \notin M_\omega$ ,则 $u_{i,j}^b$ 为0。这表示买方 $i$ 或者卖方 $j$ 并非拍卖中的赢家。 $u_{i,j}^b > 0$ 表示买方 $i$ 对卖方 $j$ 提供的服务的估价高于收取的价格,这对买方 $i$ 是有利可图的。因此, $u_{i,j}^b$ 可以作为买方是否愿意将任务卸载给卖方 $j$ 的指标,为拍卖人的定价决策提供参考。

[0139] 假定 $c_j$ 是卖方 $j$ 处理单个任务的花销,卖方 $j$ 从买方 $i$ 处得到的效用定义为如下:

$$[0140] \quad u_{i,j}^s = \begin{cases} (p_{i,j}^s - c_j) \times g_{i,j} & j \in M_\omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

[0141] 类似于买方的效用, $u_{i,j}^s > 0$ 意味着对卖方 $j$ 参与交易是有利可图的。 $u_{i,j}^b > 0$ 和 $u_{i,j}^s > 0$ 是激励买卖双方参与交易的重要指标。

[0142] 2) 经济属性:为了保证整个交易过程不会出现亏损,即不允许拍卖人补贴交易,理想的拍卖机制应满足以下五个经济属性:

[0143] a) 个体合理性(IR):每个移动设备如果获得了服务器的服务,它要付的价格不会高于它的投标价格,每个服务器得到的报酬不会低于报价。

[0144] b) 真实性(TF):对所有的交易方基于他们真实的估价和资源的花销来提交投标价格或者要价是最佳策略。提交虚假的投标价格或者要价对交易双方而言,不仅无法产生额外收入而且会降低效用。

[0145] c) 预算平衡(BB):所有买方支付的总价大于或等于所有卖方收到的报酬。

[0146] d) 系统效率(SE):当拍卖结束,尽可能多的买家获得了所需的服务。

[0147] e) 总效益(SW):交易参与方的效用总和

$$[0148] \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (u_{i,j}^b + u_{i,j}^s) \quad (3)$$

[0149] DBDA激励机制中胜出的买方的支付价格和卖方的报酬均为买方集合的中位数,每个胜出的买方被收取不高于其出价的价格,而每个胜出的卖方从拍卖人那里得到不低于其要求的报价的报酬。

[0150] DBDA激励机制中卖方对服务的估价高于买方集合的中位数,卖方处理单个任务的花销低于买方集合的中位数,买方和卖方的效用均不低于0。

[0151] ASDA激励机制中胜出的买方的支付和卖方的报酬均为最高丢标出价,每个胜出的买方被收取不高于其出价的价格,而每个胜出的卖方从拍卖人那里得到不低于其要价的报酬。

[0152] DBDA激励机制中卖方对服务的估价高于最高丢标出价,卖方处理单个任务的花销低于最高丢标出价,买方和卖方的效用均不低于0。

[0153] 因此,DBDA和ASDA都是个体合理的,边缘服务器得到了足够的补偿,激励其分享资源。另一方面,MD得到所需的资源,支付的费用不超过这些资源的估值,MD也会被鼓励向边缘服务器请求服务。对于每一个成功的交易,买方支付价格总是大于或等于卖方的报酬。因此,在整个拍卖过程中,买方支付价格总是大于或等于卖方的报酬,DAMB和ASDA满足预算平衡。

[0154] 假设DAMB和ASDA激励机制均以表2中所示信息进行拍卖实例演示。

[0155] 实施例1

[0156] DAMB激励机制:

[0157] (1) 按升序对A中的元素排序:

[0158]  $A' = (a_{q_1} = a_3 = 2, a_{q_2} = a_1 = 3, a_{q_3} = a_2 = 4, a_{q_4} = a_5 = 5, a_{q_5} = a_4 = 6)$ 。

[0159] (2) 按降序对B中的元素排序:

[0160]  $b' = (b_{2,3} = 10, b_{3,1} = 10, b_{1,3} = 9, b_{4,1} = 8, b_{1,2} = 7, b_{1,1} = 7, b_{2,1} = 6, b_{4,2} = 6, b_{3,3} = 6, b_{1,4} = 6, b_{4,4} = 6, b_{2,5} = 5, b_{4,5} = 4)$ 。

[0161] (3)  $A'$ : 中位数:

[0162]  $a_{q_\mu} = a_2 = 4$ 。

[0163] (4) 移除 $B'$ 中所有小于 $a_{q_\mu}$ 的元素:

[0164]  $B_c = (b_{2,3} = 10, b_{3,1} = 10, b_{1,3} = 9, b_{4,1} = 8, b_{1,2} = 7, b_{1,1} = 7, b_{2,1} = 6, b_{4,2} = 6, b_{3,3} = 6, b_{1,4} = 6, b_{4,4} = 6, b_{2,5} = 5)$ 。

[0165] (5) 删除 $A'$ 中大于或等于 $a_{q_\mu}$ 的元素:

[0166]  $A_c = (a_3 = 2, a_1 = 3)$ 。

[0167] (6) 找到 $B_c$ 中第一个元素为 $b_{2,3} = 10$ ,因为 $a_3 \in A_c$ ,则买方2的任务可以卸载到卖方3。由表2知卖方3的App部署情况为 $R^3 = (1, 0, 1, 0)$ ,买方2需要处理的任务情况为 $R^2 = (1, 1, 1, 0)$ ,故买方2可以将任务1和任务3卸载到卖方3处理。任务2需等待卸载到其它服务器处理。

[0168] (7) 找到 $B_c$ 中下一个元素 $b_{3,1} = 10$ ,可知买方3可以将任务3卸载到卖方1。

[0169] (8) 找到 $B_c$ 中下一个元素 $b_{1,3} = 9$ ,因为卖方3的App1和App3已经被买方2占用,则 $b_{1,3}$ 为卖方3的最高丢标出价。 $P^b = \{p_{2,3}^b = b_{1,3} = 9\}$ ,  $\Phi(2) = 3$ ,  $g_{2,3} = 2$ ,  $N_\omega = \{2\}$ ,  $M_\omega = \{3\}$ ,  $r_{3,1} = r_{3,3} = 0$ ,  $q_{2,1} = q_{2,3} = 0$ 。

[0170] (9) 对于 $b_{4,1} = 8$ ,买方4的任务2可以卸载到卖方1,任务4需等待卸载到其它服务器处理。

[0171] (10) 对于 $b_{1,2} = 7$ ,因为 $a_2 \notin A_c$ , $b_{1,2} = 7$ 被忽略。出于同样的原因, $b_{4,2}$ , $b_{1,4}$ , $b_{4,4}$ , $b_{2,5}$ 均被忽略。

[0172] (11) 对于 $b_{1,1} = 7$ ,因为卖方1的App3已经被买方3占用,则 $b_{1,1}$ 为卖方1的最高丢标

出价。 $P^b = \{p_{2,3}^b = 9, p_{3,1}^b = 7\}$ ,  $\phi(3) = 1, g_{3,1} = 1, N_\omega = \{2, 3\}, M_\omega = \{3, 1\}, r_{1,3} = 0, q_{3,3} = 0$ 。

[0173] (12) 对于  $b_{2,1} = 6$ , 因为卖方1的App2已经被买方4占用, 则  $b_{2,1}$  为卖方1的最高丢标出价。 $P^b = \{p_{2,3}^b = 9, p_{3,1}^b = 7, p_{4,1}^b = 6\}$ ,  $\phi(4) = 1, g_{4,1} = 1, N_\omega = \{2, 3, 4\}, M_\omega = \{3, 1\}, r_{1,2} = 0, q_{4,2} = 0$ 。

[0174] (13) 对于  $b_{3,3} = 6$ , 没有资源可以处理其任务, 故忽略。

[0175] (14) 所有的卖方赢家获得报酬为  $a_{q_i}$ , 即  $P^s = \{p_1^s = p_3^s = 4\}$ 。

[0176] (15) 最终得  $P^b = \{p_{2,3}^b = 9, p_{3,1}^b = 7, p_{4,1}^b = 6\}$ ,  $P^s = \{p_1^s = p_3^s = 4\}, N_\omega = \{2, 3, 4\}, M_\omega = \{3, 1\}$ 。

[0177] 实施例2

[0178] ASDA激励机制

[0179] (1) 按升序对A中的元素排序:

[0180]  $A' = (a_{q_1} = a_3 = 2, a_{q_2} = a_1 = 3, a_{q_3} = a_2 = 4, a_{q_4} = a_5 = 5, a_{q_5} = a_4 = 6)$ ;

[0181] (2) 从A'第一个元素开始遍历, 对于  $a_3 = 2$  由表2知卖方3部署了App1和App3。假定我们随机选择App1开始拍卖。从B中提取出所有对卖方3App1的投标。由表2中 $Q^1$ 和 $Q^2$ 可知, 只有买方1和买方2需要服务, 我们将提取出的投标组成新的向量  $B_1^3 = \{b_{1,3} = 9, b_{2,3} = 10\}$ , 则买方2为赢家,  $b_{1,3} = 9$  为最高丢标出价。 $P^b = \{p_{2,3,1}^b = 9\}$ ,  $P^s = \{p_{3,1}^s = 9\}, N_\omega = \{2\}, M_\omega = \{3\}, \phi(2) = 3, g_{2,3} = 1, r_{3,1} = 0, q_{2,1} = 0$ 。由 $Q^1$ 、 $Q^2$ 和 $Q^3$ 可知, 买方1、买方2、买方3需要App3, 我们从B中提取出所有对卖方3App3的投标  $B_2^3 = \{b_{1,3} = 9, b_{2,3} = 10, b_{3,3} = 6\}$ , 则买方2为赢家,  $b_{1,3} = 9$  为最高丢标出价。 $P^b = \{p_{2,3,1}^b = 9, p_{2,3,3}^b = 9\}$ ,  $P^s = \{p_{3,1}^s = 9, p_{3,3}^s = 9\}, N_\omega = \{2\}, M_\omega = \{3\}, g_{2,3} = 2, r_{3,3} = 0, q_{2,3} = 0$ 。

[0182] (3) 对于  $a_1 = 3$ , 根据 $R^1$ , 卖方1部署了App2和App3。假定我们随机选择App2开始拍卖。从B中提取出所有对卖方1App2的投标, 组成新的向量  $B_2^1 = \{b_{2,1} = 6, b_{4,1} = 8\}$ , 则买方4为赢家,  $b_{2,1} = 6$  为最高丢标出价。 $P^b = \{p_{2,3,1}^b = 9, p_{2,3,3}^b = 9, p_{4,1,2}^b = 6\}$ ,  $P^s = \{p_{3,1}^s = 9, p_{3,3}^s = 9, p_{1,2}^s = 6\}, N_\omega = \{2, 4\}, M_\omega = \{3, 1\}, g_{4,1} = 2, r_{1,2} = 0, q_{4,2} = 0$ 。对于卖方1的App3, 只有买方1和买方3需要(买方2已将任务3卸载到卖方3。 $B_3^1 = \{b_{1,1} = 7, b_{3,1} = 10\}$ , 则买方3为赢家,  $b_{1,1} = 7$  为最高丢标出价。 $P^b = \{p_{2,3,1}^b = 9, p_{2,3,3}^b = 9, p_{4,1,2}^b = 6, p_{3,1,3}^b = 7\}$ ,  $P^s = \{p_{3,1}^s = 9, p_{3,3}^s = 9, p_{1,2}^s = 6, p_{1,3}^s = 7\}, N_\omega = \{2, 4, 3\}, M_\omega = \{3, 1\}, g_{3,1} = 1, r_{1,3} = 0, q_{3,3} = 0$ 。

[0183] (4) 用上述办法遍历剩余的  $a_2, a_5, a_4$ , 最终得到  $P^b = \{p_{2,3,1}^b = 9, p_{2,3,3}^b = 9, p_{4,1,2}^b = 6, p_{3,1,3}^b = 7, p_{1,2,4}^b = 6, p_{3,4,4}^b = 7\}$ ,  $P^s = \{p_{3,1}^s = 9, p_{3,3}^s = 9, p_{1,2}^s = 6, p_{1,3}^s = 7, p_{2,4}^s = 6, p_{4,4}^s = 7\}, N_\omega = \{2, 4, 3, 1\}, M_\omega = \{3, 1, 2, 4\}$ 。

[0184] 请参阅图2和图3, 图2和图3描述了DAMB和ASDA在总效益和所服务任务数量方面的比较:

[0185] 由于所服务的任务数量能够更好地代表服务质量, 即系统效率。为了评估DAMB和ASDA的性能, 我们还引入了两种资源分配拍卖算法, 即TIM和EDA。如图3所示, 在边缘服务器数量不变的情况下(10台边缘服务器), 在不同数量的买家中, ASDA所服务的任务总数总是

大于DAMB所服务的任务总数。应当注意,当买家数量少于15人时,因为DAMB采用最大效用决定赢家,DAMB的总效益高于ASDA。因此,当用户数量较少时,DAMB和ASDA各自服务的任务数量没有太大差异,DAMB的总效用可能大于ASDA。另一方面,我们两种方法的性能都优于TIM和EDA。后两种算法只考虑单任务资源分配,即服务器最多只能服务一个任务,因此,系统效率相对较低。

[0186] 请参阅图4和图5,图4和图5中显示了两种激励机制的要价、报酬、价格和投标价格:

[0187] 由于对每一个胜出的买家收取的价格比或等于对每一个胜出的卖家的报酬更高,所以这里的价格呈现了这两种情况。对于DBDA和ASDA,每个胜出的买方被收取不高于其出价的价格,而每个胜出的卖方从拍卖人那里得到不低于其要求的报价的报酬。因此,DBDA和ASDA都是个体合理的。结果表明,边缘服务器得到了足够的补偿,MD支付的费用不超过这些资源的估值,激励双方进行交易。此外,对于每一个成功的交易,价格总是高于报酬。因此,在整个拍卖过程中,价格之和大于或等于报酬之和。因此,DAMB和ASDA满足预算平衡,拍卖人可以在不出现赤字的情况下协助资源分配。

[0188] 请参阅图6和图7,为了验证DAMB的真实性,我们随机选择App或任务来检查它们在投标价格或要价不同值时的效用如何变化。当买方出价低于其真实价值时,其效用就会下降。当它的出价高于临界值时,效用将是一个常数。因此,每个买家都没有动机提交不真实的出价。而且即使买方再提高出价,也不能提高其效用。同样。当卖方的要价低于临界值时,其效用是一个常数,当卖方的要价大于临界值,效用将变为零。如图所示,实事求是的效用是所有可能要价中最高的。总之,DAMB保证买方和卖方的真实性,因为不能通过不真实的投标或要价来提高效用。

[0189] 请参阅图8,图8为卖方评估ASDA的真实性。当卖方的要价低于真实估价时,其效用是一个固定值,当卖方的要价高于真实估价时,效用保持不变或等于零。如图所示,实事求是的效用是所有可能要价中最高的。对于所有其他的要价,其效用不能超过有真实请求的效用。图8中的观察结果证实了关于ASDA对卖方真实性的结论。

[0190] 本发明技术方案中出现的符号请参考表1所示。

[0191] 表1为技术方案中的符号对应表



符号	含义	符号	含义
$R$	卖方 App indicatormatrix	$t_{jk}$	卖方 $j$ 处理任务 $k$ 所需时间
$Q$	买方 Task indicatormatrix	$M_\omega$	卖方赢家集
$A$	卖方要价向量	$N_\omega$	买方赢家集
$B$	买方出价矩阵	$\phi$	$M_\omega$ 与 $N_\omega$ 间的映射关系
$M$	卖方集合	$G$	配置矩阵
$\Gamma$	买方容忍时延矩阵	$P^s$	卖方赢家的报酬集
$N$	买方集合	$P^b$	买方赢家的投标价格集
$u_{ij}^b$	买方从卖方服务中得到的效用	$T$	任务卸载到云端的时延
$u_{ij}^s$	卖方从买方支付中得到的效用	$t_k$	卖方处理任务 $k$ 所需时延

[0192] 表2为本发明实施例背景信息

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$A$	3	4	2	6	5

[0193] (a) Ask vector of 5 sellers

	App 1	App 2	App 3	App 4
$R^1$	0	1	1	0
$R^2$	1	0	0	1
$R^3$	1	0	1	0
$R^4$	0	0	0	1
$R^5$	0	1	0	0

[0194] (b) Application indicator matrix

		1	2	3	4	5
	$B^1$	7	7	9	6	0
[0198]	$B^2$	6	0	10	0	5
	$B^3$	10	5	6	8	0
	$B^4$	8	7	0	7	4

[0199] (c) Bid matrix of 4 buyers

		<i>Task 1</i>	<i>Task 2</i>	<i>Task 3</i>	<i>Task 4</i>
	$Q^1$	1	0	1	1
[0200]	$Q^2$	1	1	1	0
	$Q^3$	0	0	1	1
	$Q^4$	0	1	0	1

[0201] (d) Task indicator matrix

[0202] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制, 尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明, 所属领域的普通技术人员依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换, 这些未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换, 均在申请待批的本发明的权利要求保护范围之内。

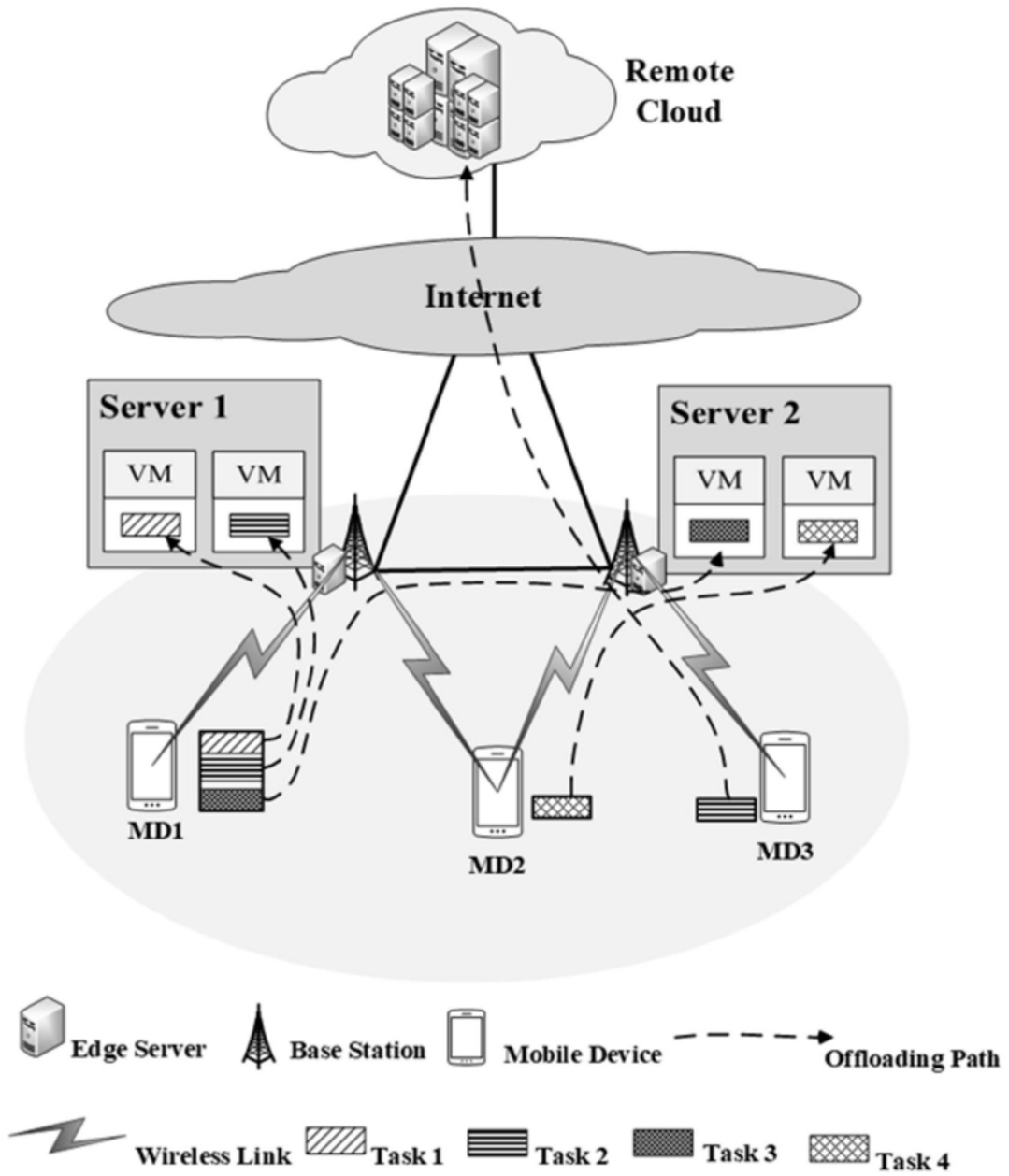


图1

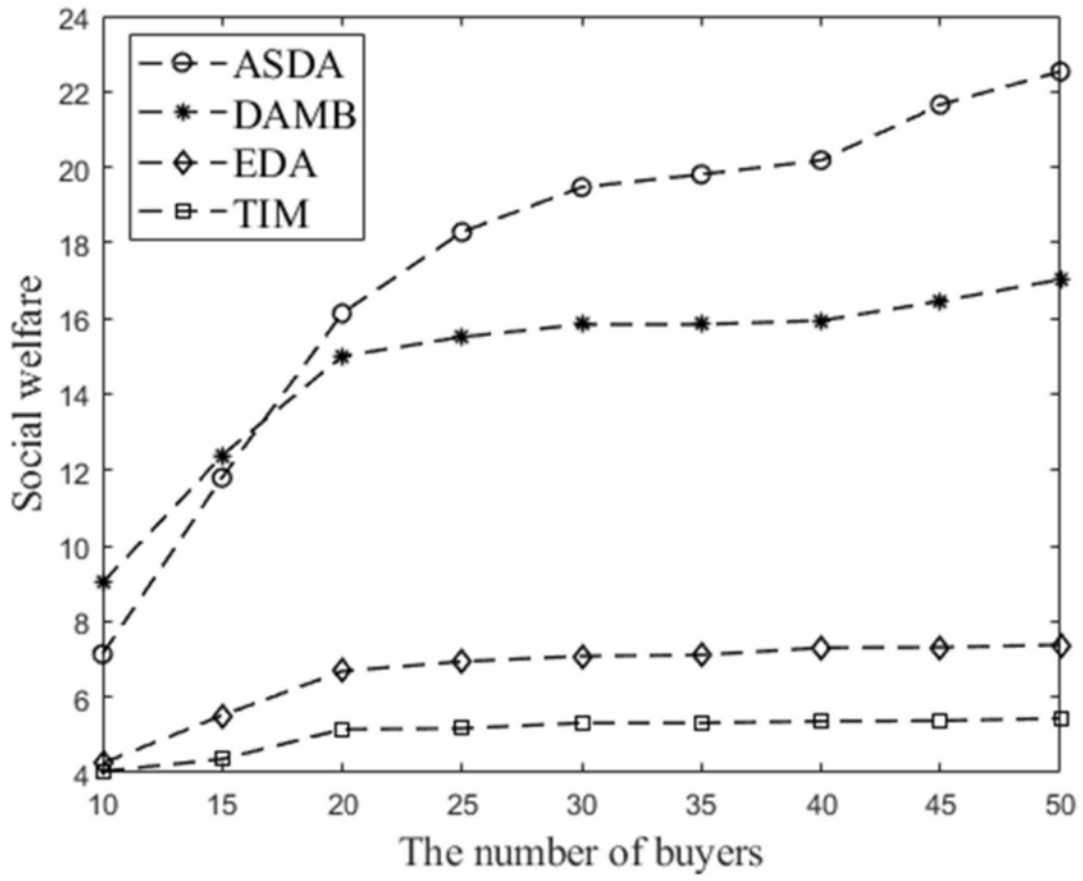


图2

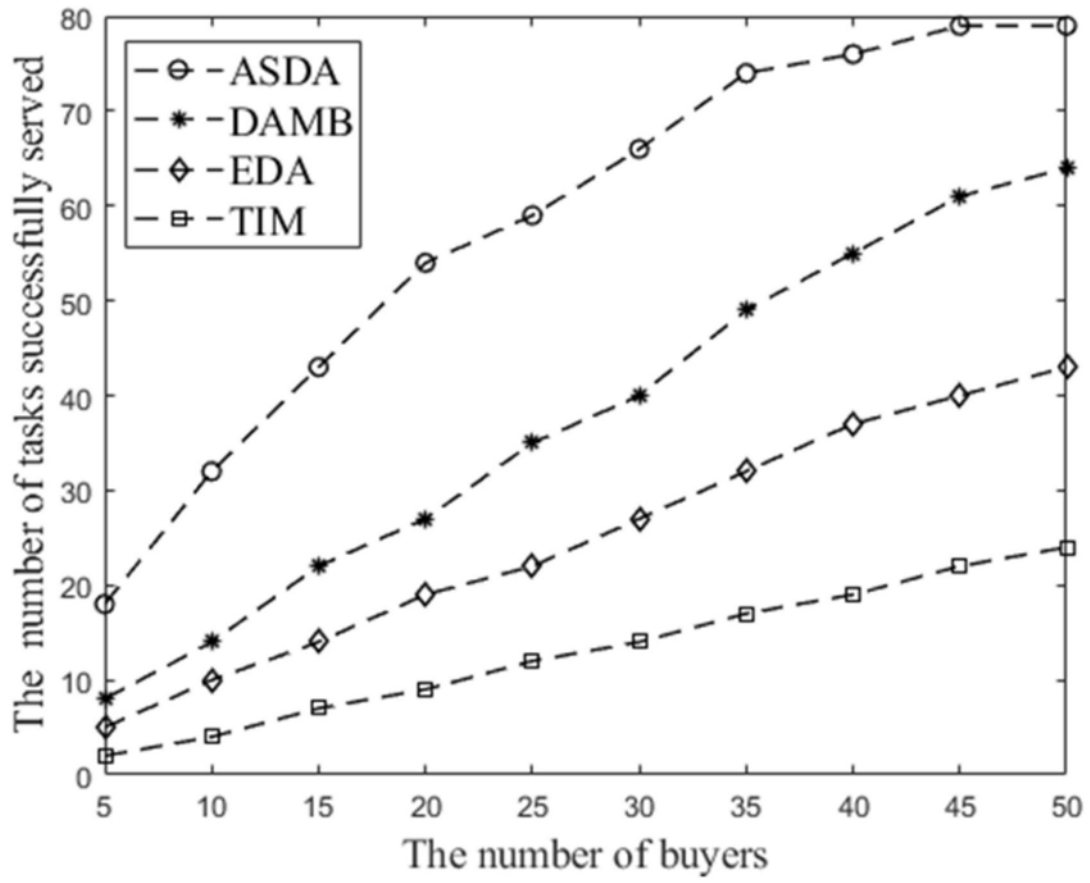


图3

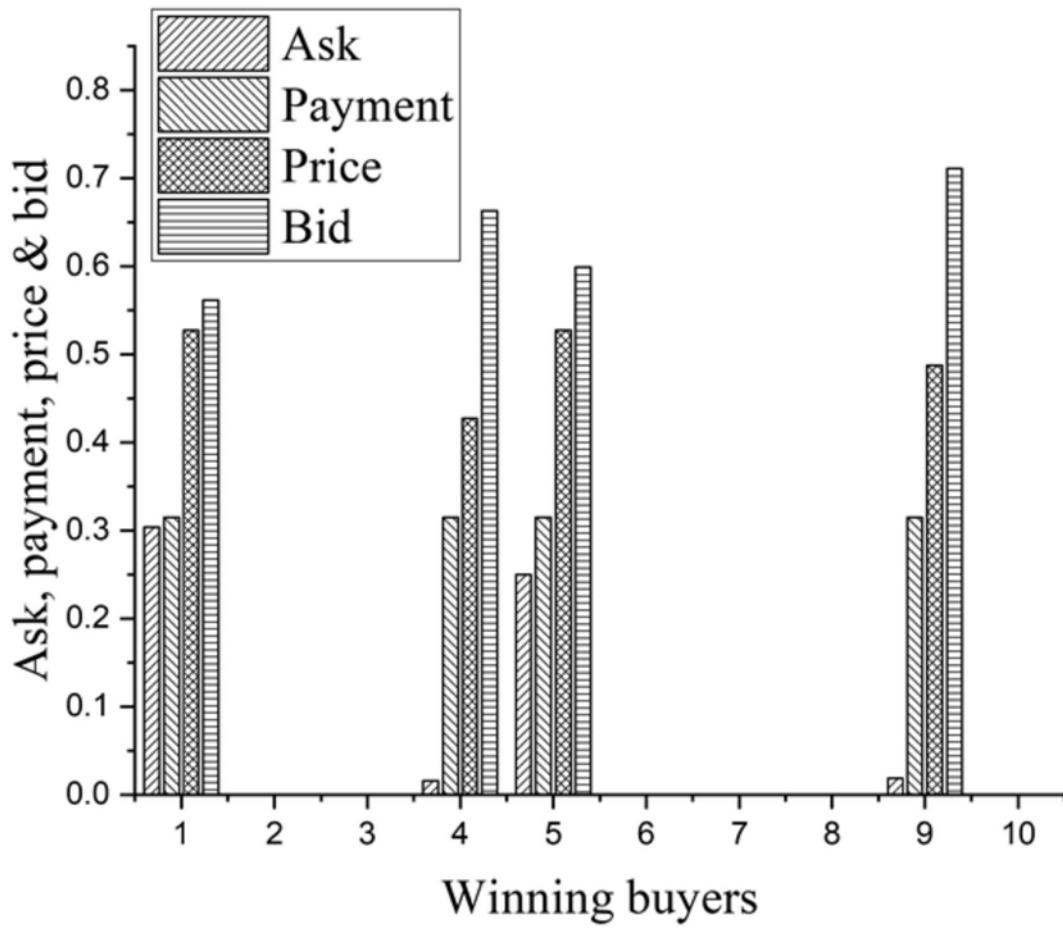


图4

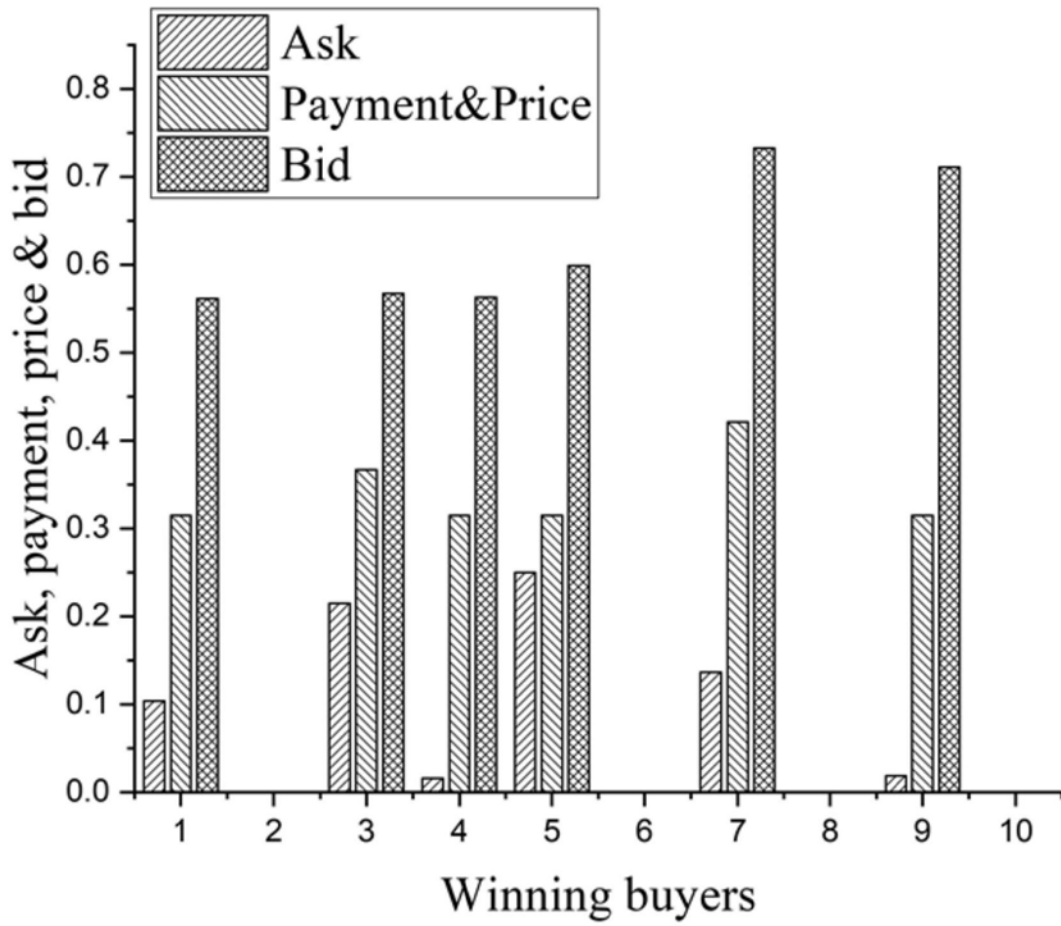


图5

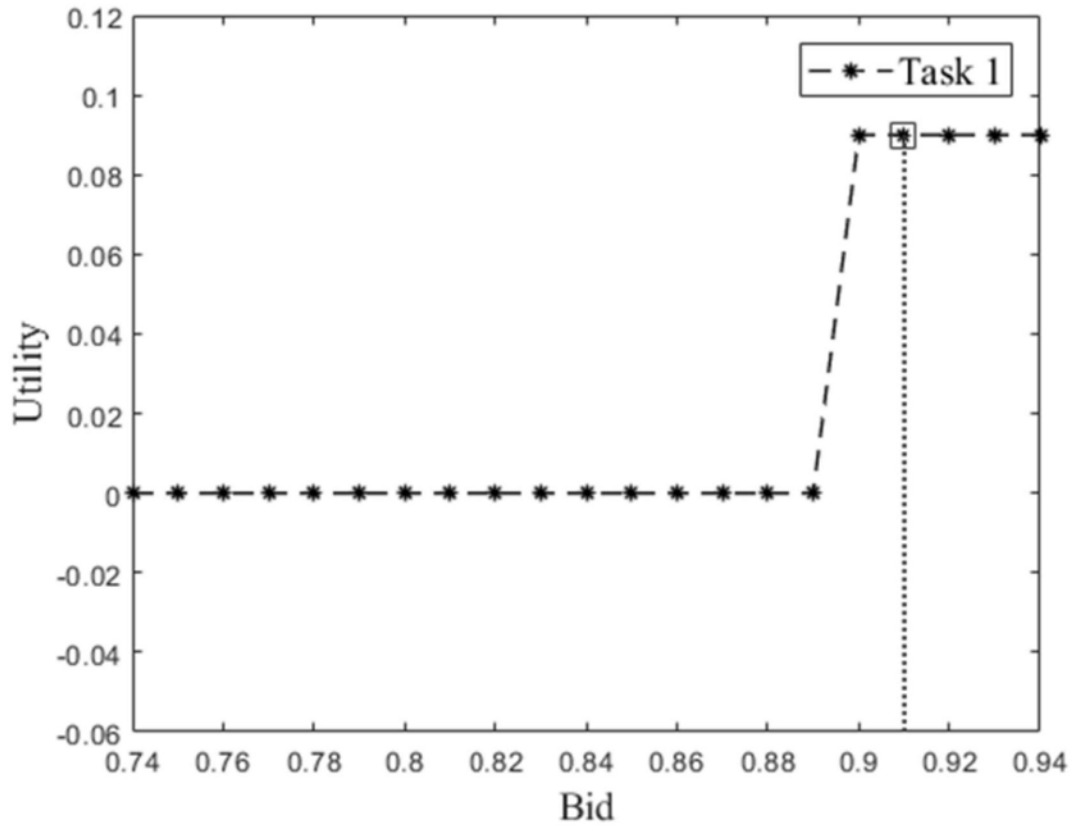


图6



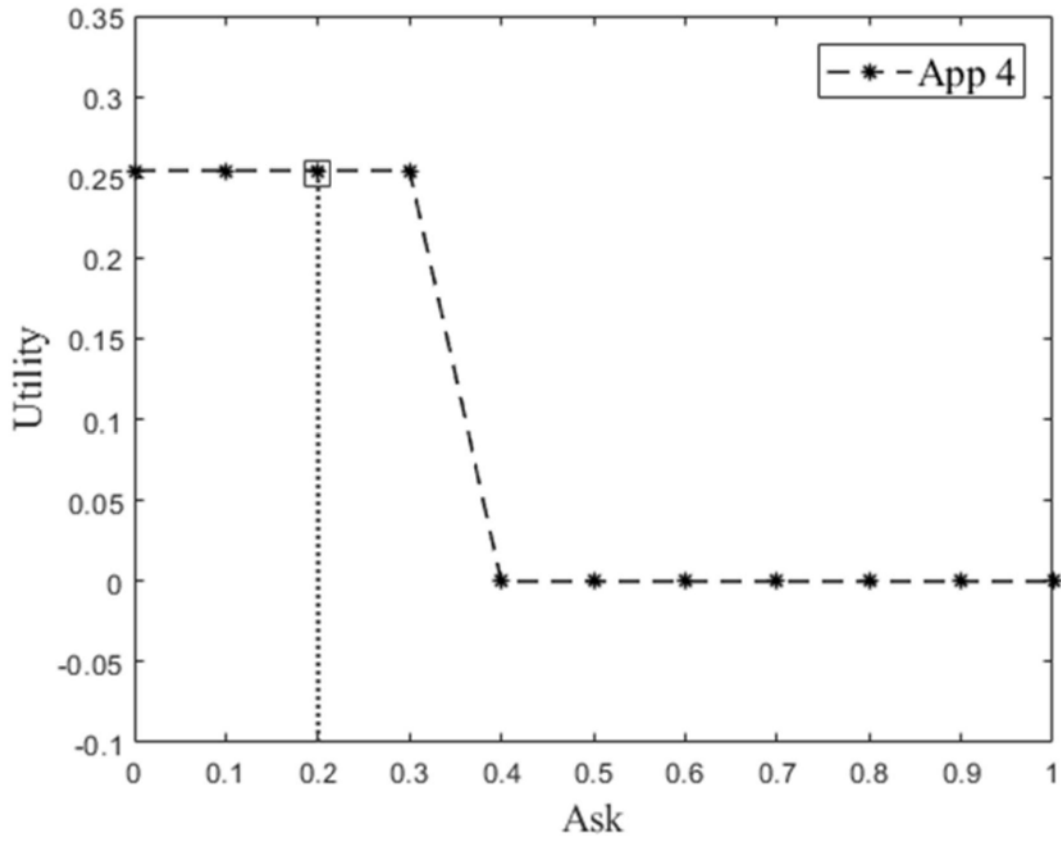


图7

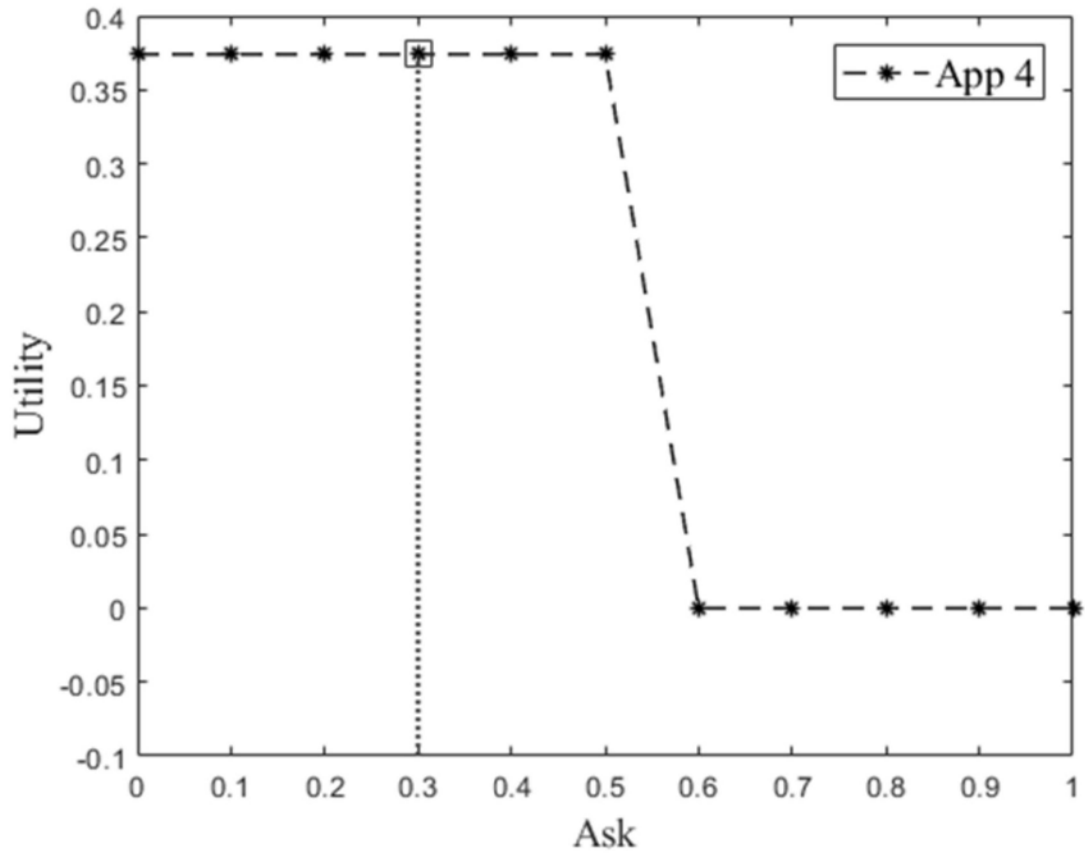


图8

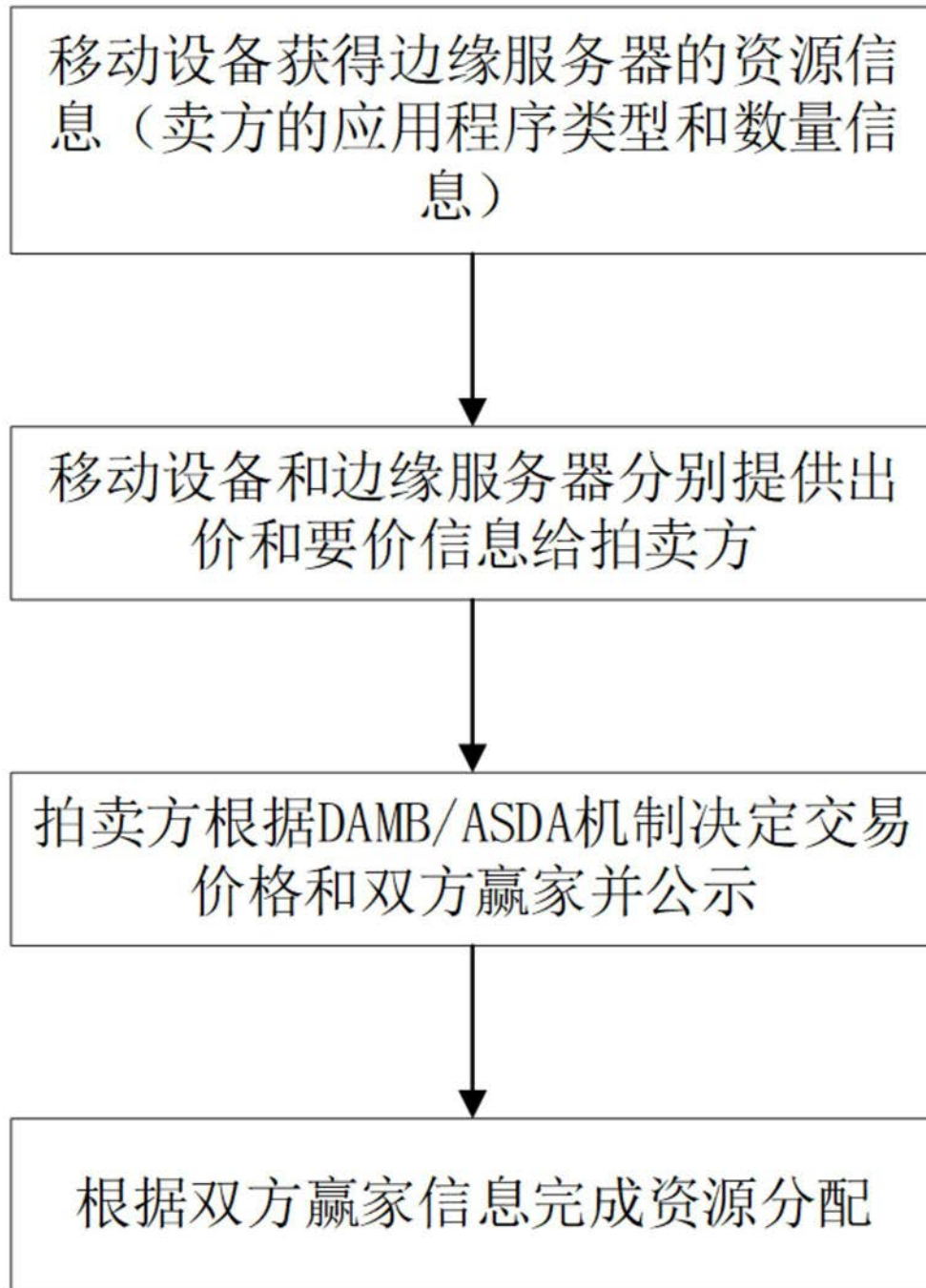


图9