

面向移动社交云的资源分配机制*

李雪¹, 王兴伟², 王学毅², 黄敏³

¹(东北大学 计算机科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110169)

²(东北大学 软件学院, 辽宁 沈阳 110169)

³(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

通讯作者: 王兴伟, E-mail: wangxw@mail.neu.edu.cn



摘要: 移动社交云是结合了移动云和社交云的一种新型模式,它可以为用户提供安全可靠的资源分享平台。在传统的资源分配中,移动用户从远程数据中心获取资源的时间开销大,显著地降低了用户的体验质量,与此同时也极少考虑用户之间根据社交属性建立的信任关系,从而导致交易机制存在一定信用风险和交易用户信誉度低的问题。为此,在考虑用户的社交效益和经济效益的基础上提出了一种新型的移动社交云资源分配机制。首先,利用改进 Gale-Shapley 算法为买方在其朋友圈中匹配出合适的卖方,促进社交朋友间资源的共享。其次,利用多对多的买方多标密封拍卖算法,对未成功匹配的用户再次分配资源,最大化利用空闲的移动云资源。最后,实现了提出的资源分配机制,仿真结果表明,与激励与拍卖兼容的移动云资源分配机制相比,提出的资源分配机制在价格满意度、社交信誉满意度和资源交易成功率方面具有更好的性能。

关键词: 移动社交云;社交属性;资源分配;Gale-Shapley;拍卖算法

中文引用格式: 李雪,王兴伟,王学毅,黄敏.面向移动社交云的资源分配机制.软件学报,2017,28(Suppl.(2)):30-40. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17016.htm>

英文引用格式: Li X, Wang XW, Wang XY, Huang M. Resources allocation mechanism towards mobile social cloud. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2017,28(Suppl.(2)):30-40 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17016.htm>

Resources Allocation Mechanism Towards Mobile Social Cloud

LI Xue¹, WANG Xing-Wei², WANG Xue-Yi², HUANG Min³

¹(School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110169, China)

²(College of Software, Northeastern University, Shenyang 110169, China)

³(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: The mobile social cloud is a new paradigm that combines mobile cloud with social cloud. It can provide users with a safe and reliable resource sharing platform. In the conventional resources allocation, the time overhead is large for mobile users to obtain resources from a remote data center, resulting in significantly degrading quality of users' experience. At the same time, there is little consideration of the trust relationship established by users based on social attribute, which leads to credit risk and low reputation of users in transaction mechanism. Therefore, a novel resources allocation mechanism of mobile social cloud is designed in this paper considering the social and economic benefits of users. Firstly, to promote the sharing of resources among social friends, the improved Gale-Shapley algorithm is used to match appropriate sellers for the buyers in their friend circles. Then, to maximize the use of idle mobile cloud resources, a multi-to-multi buyer bidirectional sealed-bid auction algorithm is used to reallocate resources for the unsuccessfully matching users. Finally, the proposed resources allocation mechanism is simulated. The simulation results show that the proposed resources allocation mechanism in this paper has better performances than the Incentive-Compatible Auction Mechanism in terms of price satisfaction, social

* 基金项目: 国家自然科学基金(61572123); 国家杰出青年科学基金(71325002); 教育部-中国移动科研基金(MCM20160201)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (61572123); National Science Foundation for Distinguished Young Scholars of China (71325002); MoE and ChinaMobile Joint Research Fund (MCM20160201)

收稿时间: 2017-06-30; 采用时间: 2017-10-20

reputation satisfaction and success rate of resources transaction.

Key words: mobile social cloud; social attribute; resource allocation; Gale-Shapley; auction algorithm

随着智能移动终端的普及,移动 App 逐渐渗透到人们的工作生活中,人们不断增强对 App 功能的需求,因此,App 需要更加强大的硬件支持^[1].为了解决移动终端性能的局限性,Abolfazl 等人提出了移动云计算^[2].移动云计算是云计算、无线网络和移动计算相结合的一种新型模式.移动终端用户可以通过移动网络获得硬件、平台和软件等 IT 服务资源.

在传统的云资源管理中,云资源一般由大供应商集中管理,移动用户从远程云数据中心获得所需要的资源.然而,这种获取资源的方式需要通过大量的路由节点,存在时间延迟,降低了用户的服务体验;其次,用户之间不存在信任关系或信任关系很薄弱,从而导致交易机制存在一定的信用风险和用户信誉低的问题.

随着技术的发展,智能移动终端不断提高了计算能力、存储容量等性能,可以将每个移动终端作为一个微数据中心,使其形成分布式的云,设备之间通过无线连接的方式进行资源共享,平衡了远程数据中心和本地计算,提高了用户的服务体验.在社交网络中,朋友间存在着信任关系,这种信任关系保证了朋友间信息交互和资源共享的安全性.在社交网络中共享移动云资源就形成了移动社交云,能够为用户提供安全可靠的资源分享平台^[3].例如,若移动设备中的移动 App 对大量的信息进行处理时,就需要很大的存储空间,由于移动设备中的存储空间有限,利用移动云计算技术需从远程云数据中心获得存储资源,并对信息进行离线处理,这种获取资源并处理信息的方式,不但时间开销大,而且也会降低用户的服务体验.然而,若当前移动设备附近的社交朋友恰好有空闲的存储资源,移动设备就可以向社交朋友发出资源请求,社交朋友响应此请求后,移动设备就可以获得资源,这种获取资源的方式不仅解决了用户的存储空间问题,同时也提高了用户的服务体验.

云计算是一种面向市场的服务模式,云资源的定价、分配、管理与优化一直是研究领域的难点与重点.在文献[4]中,为了提高移动媒体端到端的性能,在移动云计算中结合了云计算与无线网络,文中不仅考虑了无线网络中的频谱效率,还考虑了云资源中的定价问题.在云资源市场中,研究者一般采用拍卖理论^[5]和博弈理论^[6]来解决资源分配问题.文献[7]提出了一种基于多属性拍卖的云资源动态分配机制,采用支持向量机的方法将组合资源需求转化成多个单种资源的需求.文献[8]提出了一种基于信任拍卖算法的移动云资源分配机制.该机制分为同构资源任务需求与异构资源任务需求两种模型.对于异构模型,提出了一种有效的启发式胜标确定算法来分配任务,并决定每个卖方胜标的出价;对于同构模型,提出了基于 VCG(vickrey clarke-groves)算法的拍卖机制来确定每个投标的价格.文献[9]提出了一种多云提供商、多租户的带宽保留的双向拍卖机制.此机制分为两种拍卖情况,第 1 种情况是所有的云供应商有相同的带宽资源,租户的需求是不分割的,将租户划分成组,一个云资源提供者匹配一个租户组;第 2 种情况 STAR-Padding,不同供应商有不同的带宽资源,租户的需求是可分割,一个云服务提供者可以服务多个租户或者一个租户由多个云提供者服务.文献[7]提出了一种多代理、多方拍卖的资源分配机制.为了提高资源利用率,云提供者能够动态定价资源,云资源消费者选择合理有效的资源.文献[10]提出了一种激励兼容拍卖的移动云资源分配机制.该机制能够有效地分配云资源,以满足移动设备的业务需求,并确定资源的定价.在预算平衡、真实性(激励兼容性)以及计算效率方面都表现出了很好的性能.文献[11]提出了在移动云计算中服务提供者合作的博弈模型.服务提供者组成一个联盟并创建一个资源池为用户提供资源,利用资源池获得的收入使用博弈方法进行利益的分配.文献[12]中利用最小-最大博弈方法,提出了一种采用效用最大化方法来解决资源配置与分配的问题.在博弈的过程中,添加了一个同时考虑每个用户的时间开销与预算限制的效用因素,效用值最大为最佳的资源分配方案.文献[13]提出了一种基于博弈方法的媒体云资源分配机制.根据买卖双方的社交关系和效用函数,设计了 4 阶段的 Stackelberg 博弈;最后,利用迭代算法,求出 Stackelberg 平衡解.

为了保证市场的公平性和维护市场的秩序,设计一种互利共赢的移动社交云资源管理机制是必要的.本文提出了一种基于改进 GS(gale-shapley)^[14]和拍卖算法的资源分配机制,使其在每个阶段中买卖双方的效用值之和最大.首先,用户之间基于社交背景与经济效益,利用改进 GS 社交资源共享匹配算法进行用户匹配,目标是最大化共享社交朋友间的资源.然后,为了最大化利用移动社交云中的空闲资源,未成功匹配的用户会参与到资源

拍卖中,拍卖机制同时兼顾交易双方的价格与信誉,利用多对多的买方多标密封拍卖算法为用户实现资源分配.

1 系统框架

在移动社交云中,所有用户空闲资源的集合是分配给买方的总资源.如图 1 所示,本文提出的移动社交云资源管理机制的系统框架主要由移动社交云平台和移动社交云市场组成.移动社交云平台接收来自所有用户的资源共享与需求信息,它将这些信息汇总和处理后发送到移动社交云市场.在移动社交云市场下,移动社交用户自发地进行合理的资源交易.

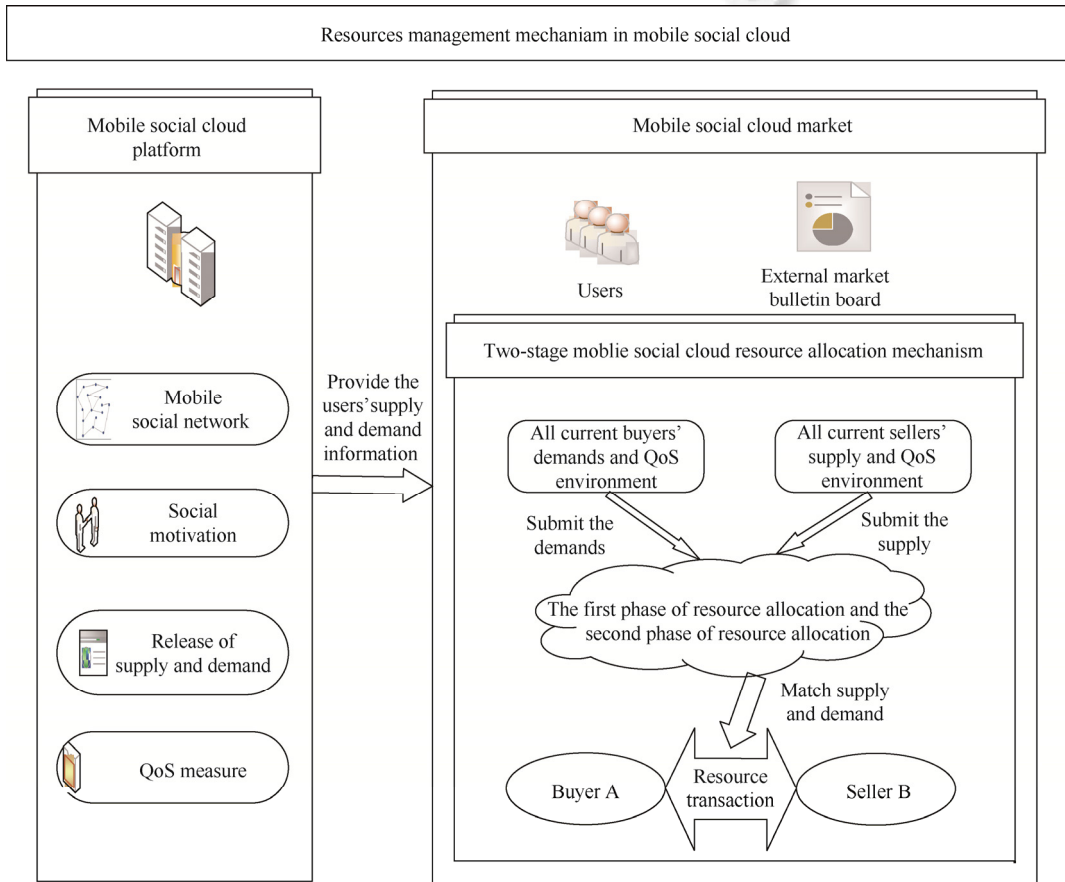


Fig.1 Mobile social cloud resources management mechanism

图 1 移动社交云资源管理机制

在移动社交云平台中,每个用户都拥有自己的朋友圈,所有用户朋友圈的并集就是社交网络拓扑.用户将资源申请或分享请求发布到自己的朋友圈中,每个用户都愿意与亲密的朋友交易资源,系统会鼓励用户发展社交关系来促进资源的共享.在移动社交云中,用户使用设备的种类繁多,硬件处理能力不同,而且用户间使用有线或无线等多种通信方式,导致用户间的通信质量不同.当用户请求资源时,会根据 App 对服务质量的具体需求来选择合适的云资源,因此,云平台会测量用户的通信环境等因素.在云市场中,外部主流市场(如阿里云、百度云等)会影响移动云资源的价格.外部市场行情公告板时刻公告着外部主流市场中资源的价格,以指导用户合理的对资源进行估价与定价.双阶段移动社交云资源分配机制根据用户的供给信息为用户匹配合适的交易对象,具体的步骤如下所示:

- (1) 系统接收买方的资源需求和 QoS 信息,并指导该买方在其朋友圈中匹配合适的卖方;

- (2) 如果买方在其朋友圈中匹配到合适的卖方,买卖双方将进行移动云资源交易;
- (3) 如果没有匹配到合适的卖方,将指导买方参与到移动云资源的拍卖阶段;
- (4) 资源交易完成后,交易关闭.

2 双阶段移动社交云资源分配机制

2.1 第1阶段:改进GS算法

第1阶段的资源分配机制是利用改进GS算法.GS算法的目标是获得稳定的一对一的匹配.而在本文中,当资源供求不平衡时,为了增大买卖双方的收益,需要实现多对多的资源匹配,因此需要改进GS算法.

同一朋友圈内的买方与卖方进行双向选择,根据与交易对象达成交易的效用值,使用改进GS匹配算法得到双方都满意的买方与卖方组合.

买方对所有可进行资源交易(即处在同一朋友圈中)的卖方,利用效用函数 $Ub(i,j)$ 计算与每个可进行资源交易的卖方的效用值,根据效用值的大小对卖方进行从高到低排序,排序越靠前的,效用值越大,买方越愿意与其交易,即买方 i 对其朋友圈内所有卖方的偏好排序.与此同时,每个买方对要购买的资源都有一个最低的期望收益,因此,会从排序中除去效用值过低的卖方.

卖方对买方的匹配同理.

资源共享匹配算法的目标是使达成资源交易的总效用值最大,效用值包括买方效用值 $Ub_l(i,j)$ 与卖方效用值 $Us(j,i)$,见式(1):

$$\max \left(\sum_i^n \sum_j^m (Ub_l(i,j) + Us(j,i)) \right) \quad (1)$$

其中, i 表示第 i 个买方, j 表示第 j 个卖方, n 表示买方的总数, m 表示卖方的总数.

2.1.1 买方效用值

买方 i 的效用值受 i 对 j 的服务质量收益 $Q_{b_{ij}}$ 、价格收益 $P_{b_{ij}}$ 和社交信誉收益 $S_{b_{ij}}$ 影响,见式(2)~式(6).

$$Ub_l(i,j) = \begin{cases} \alpha \cdot Q_{b_{ij}} + \beta \cdot P_{b_{ij}} + \gamma \cdot S_{b_{ij}}, & \text{交易} \\ 0, & \text{未交易} \end{cases} \quad (2)$$

$$Q_{b_{ij}} = \begin{cases} \frac{Q_{ij} - Q_f}{Q_m - Q_f}, & Q_m > Q_{ij} \geq Q_f \quad (\text{a}) \\ 1, & Q_{ij} > Q_m \geq Q_f \quad (\text{b}) \\ 1, & Q_{ij} \geq Q_f \geq Q_m \quad (\text{c}) \end{cases} \quad (3)$$

$$P_{b_{ij}} = 0.5 + 0.5 \cdot \left(1 - \frac{P_{ij}}{P_{res_i}} \right) \quad (4)$$

$$S_{b_{ij}} = 0.5 \cdot R_{b_{ij}} + 0.5 \cdot sf_{ij} \quad (5)$$

$$R_{b_{ij}} = \begin{cases} 0, & R_{s_j} < sR_{f_i} \quad (\text{a}) \\ \frac{R_{s_j} - sR_{f_i}}{sR_{u_i} - sR_{f_i}}, & sR_{f_i} \leq R_{s_j} < sR_{u_i} \quad (\text{b}) \\ 1, & sR_{u_i} \leq R_{s_j} \quad (\text{c}) \end{cases} \quad (6)$$

式(2)中, α, β, γ 为权重,且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$. 式(3)中,式(a)表示 j 提供的服务质量分数相对于外部市场的差异. Q_{ij} 表示 j 为 i 提供的服务质量等级对应的分数. Q_f 表示 i 能够接受卖方提供的服务质量的下限. 式(b)表示当 j 提供的服务质量高于外部市场时, i 很满意 j . 式(c)表示当外部主流市场不能满足用户需求的服务质量时, i 只能选择朋友圈内合适的资源,此时 i 的服务质量满意度最高. 在式(4)中, P_{ij} 表示 i 与 j 的资源成交价, P_{res_i} 表示 i 对资

源的保留价.当用户对移动社交云市场了解很少时,可以使用外部主流市场的价格 P_a ,即 $P_{res_i}=P_a$.在式(5)和式(6)中, S_{b_ij} 受信誉收益 R_{b_ij} 和社交因子 sf_{ij} 影响.设 i 对所有卖方的信誉区间为 $[sR_{f_i}, sR_{u_i}]$,式(a)表示当 j 的信誉值小于最小值 sR_{f_i} 时, i 不信任 j ,信誉收益为 0;式(c)表示当 j 的信誉值大于最大值 sR_{u_i} 时, i 最信任 j . i 与 j 间的社交因子 sf_{ij} 且 $sf_{ij} \in [0, 1]$ 越大表示 i 与 j 间的朋友关系越亲密.

2.1.2 卖方效用值

卖方 j 的效用值受 j 对 i 的价格收益 P_{s_ji} 、社交信誉收益 S_{s_ji} 和未来合作收益 F_{ji} 影响.见式(7)~式(12).

$$Us_j(j, i) = \begin{cases} \alpha \cdot P_{s_ji} + \beta \cdot S_{s_ji} + \gamma \cdot F_{ji}, & \text{交易} \\ 0, & \text{未交易} \end{cases} \quad (7)$$

$$P_{s_ji} = 0.5 + 0.5 \cdot \frac{P_{ji}}{P_{res_j}} \quad (8)$$

$$P_{ji} = P_a \cdot (1 - sf_{ji}) \quad (9)$$

$$S_{s_ji} = 0.5 \cdot R_{s_ji} + 0.5 \cdot sf_{ji} \quad (10)$$

$$R_{s_ji} = \begin{cases} 0, & R_{b_i} \leq bR_{f_j} & \text{(a)} \\ \frac{R_{b_i} - bR_{f_j}}{bR_{u_j} - bR_{f_j}}, & bR_{f_j} < R_{b_i} < bR_{u_j} & \text{(b)} \\ 1, & bR_{u_j} \leq R_{b_i} & \text{(c)} \end{cases} \quad (11)$$

在式(7)中, α, β, γ 为权重,且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$.在式(8)和式(9)中 j 与 i 的资源成交价 P_{ji} 受 sf_{ji} 且 $sf_{ji} \in [0, 1]$ 的影响,朋友关系越亲密,折扣越大,资源成交价格越低;反之,朋友关系越稀疏,其资源的价格越高.当 $sf_{ji}=0$ 时,折扣最小,资源的成交价最高为 P_a ;当 $sf_{ji}=1$ 时,折扣最大,资源成交价最低为 0,但对于卖方 j 来说,为了保障自己的成本收益,最终资源的成交价应该不小于 j 对资源的保留价 P_{res_j} .因此,最终资源成交价的区间为 $P_{ji} \in [P_{res_j}, P_a]$.在式(10)和式(11)中, R_{s_ji} 表示 j 对 i 的信誉收益, j 对所有买方的信誉区间是 $[bR_{f_j}, bR_{u_j}]$.

未来合作收益 F_{ji} 表示卖方与买方在将来产生的预期收益.由于本次卖方根据社交关系以折扣价格将资源出售给买方,未来该用户再向合作对象申请资源服务时,同样能够以折扣价格获得资源,将这种面向未来的合作收益设为 F_{ji} .以下将根据博弈论知识来具体介绍如何求解 F_{ji} .

a) 资源交易行为的假设

条件:朋友 i 与 j 之间持续进行交易

合作策略(简称 C 策略): j 为 i 提供基于社交朋友等级的价格优惠,在接下来的交易中, i 也为 j 提供相同(或更高)等级优惠;

背叛策略(简称 D 策略): j 为 i 提供了偏好 ε 等级的价格优惠,而在接下来的交易中 i 为 j 提供了低于 ε 等级(甚至最低等级,即成交价格等于市场价格 $P_{ij}=P_a$)的服务以获得更高的卖方收益.

在连续交易中,假设 i, j 的交易行为策略为:如果上一次交易中对方为 C 策略,则本次交易选择 C 策略;如果上一次交易中对方为 D 策略,则本次交易选择 D 策略.

b) 基于以上交易策略假设,则 F_{ji} 的表达见下式

$$F_{ji} = \delta \left(\left(1 - \frac{P_{ij}}{P_a} \right) + \dots + \delta^{k-1} \left(1 - \frac{P_{ij}}{P_a} \right) \right) \cdot 0.5 + 0.5 \quad (12)$$

$$= \left(1 - \frac{P_{ij}}{P_a} \right) \left(\frac{\delta - \delta^k}{1 - \delta} \right) \cdot 0.5 + 0.5$$

式(12)表示卖方对买方在将来合作主观信念度 δ 且 $\delta \in [0, 1]$ 下,从将来合作中买方得到 k 次服务的效益.其中 δ 表示卖方相信“在下一申请资源服务时,该卖方(即本次交易中的买方)能提供同样优惠给我”的信念程度, k 表示未来可能从对方用户获取资源服务的交易次数.

2.1.3 改进 GS 算法步骤

算法 1. 改进 GS 算法.

输入:买方数量 n ,卖方数量 m ,所有买方的需求,所有卖方的服务类型及空闲资源,所有买方对卖方的效用值及偏好列表,所有卖方对买方的效用值及偏好列表;

输出:买方到卖方的匹配集.

BEGIN

1. $k=0$;
2. WHILE(TRUE)
3. FOR($i=1$; $i \leq n$; $i++$)
4. IF(买方 i 没有达成资源要约 && i 的偏好排序表中有未提交过要约的卖方)
5. 检查买方 i 偏好排名中未访问的最高卖方 j ;
6. IF (j 中有足够剩余资源可分配给 i)
7. j 将资源预分配给 i ;
8. i 与 j 要约;
9. ELSE
10. j 暂时解除预约中末尾排名的要约直到能够与 i 要约;
11. 计算解除要约的总效用 U_{rel} ;
12. 若 U_{rel} 小于与 i 要约的效用 $Us(j,i)$,则 j 与 i 进行要约,否则不与 i 进行要约;
13. END IF
14. IF(有新预约生成)
15. $k=0$;
16. ELSE
17. $k=k+1$;
18. END IF
19. END IF
20. IF($k == n$)
21. BREAK WHILE;
22. END IF
23. END FOR
24. END WHILE
25. 按照卖方与买方最后达成的预约,输出匹配结果,并进行资源交易.依然有剩余需求的买方与卖方进入下一阶段(拍卖市场)
26. RETURN 买方到卖方的匹配集

END

2.2 第2阶段:多对多的买方多标密封拍卖算法

第 1 阶段未成功匹配的买卖双方会进入到第 2 阶段的资源拍卖阶段.在拍卖中,有多个买方与多个卖方同时参与且每个卖方可以为多个买方提供资源.本文以密封拍卖^[15]为基础设计了多对多的买方多标密封拍卖算法.买方一次只申请一种服务,可以向多个效用值高的卖方投标,但最后只保留一个胜标的卖方.卖方可以接收多个买方的投标,根据与买方的效用值,来选择保留或舍弃某个买方的投标.

拍卖算法的目标是使达成交易的总效用值最大,交易的效用值包括买方效用值 $Ub_H(i,j)$ 与卖方效用值 $Us_H(j,i)$,见式(13).

$$\max \left(\sum_i^n \sum_j^m (Ub_{ij}(i,j) + Us_{ij}(j,i)) \right) \quad (13)$$

2.2.1 买方效用值

i 的效用值受 i 对 j 的价格收益 $P_{b_{ij}}$ 、服务质量收益 $Q_{b_{ij}}$ 和信誉收益 $R_{b_{ij}}$ 影响,见式(14)和式(15).

$$Ub_{ij}(i,j) = \begin{cases} \alpha \cdot P_{b_{ij}} + \beta \cdot Q_{b_{ij}} + \gamma \cdot R_{b_{ij}}, & \text{交易} \\ 0, & \text{未交易} \end{cases} \quad (14)$$

$$P_{b_{ij}} = 0.5 + 0.5 \cdot \left(1 - \frac{P_{bid_i}}{P_a} \right) \quad (15)$$

其中, α, β, γ 为权重,且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$. P_{bid_i} 表示 i 的投标价.

$Q_{b_{ij}}$ 和 $R_{b_{ij}}$ 与式(3)、式(6)的定义相同.

2.2.2 卖方效用值

j 的效用值受 j 与 i 的价格收益 $P_{s_{ji}}$ 和信誉收益 $R_{s_{ji}}$ 影响,见式(16)和式(17).

$$Us_{ij}(j,i) = \begin{cases} \alpha \cdot P_{s_{ji}} + \beta \cdot R_{s_{ji}}, & \text{交易} \\ 0, & \text{未交易} \end{cases} \quad (16)$$

$$P_{s_{ji}} = \frac{P_{ji}}{P_a} \cdot 0.5 + 0.5 \quad (17)$$

其中, α, β 为权重,且 $\alpha + \beta = 1$.

$R_{s_{ji}}$ 与式(11)的定义相同.

2.2.3 拍卖算法步骤

在拍卖算法中,对于买方来说,一个买方可能在多个卖方处胜标,最终,买方将根据与卖方的效用值选择效用值最大的卖方来保证自己的收益.对于卖方来说,在剔除有重复胜标的买方后,将空闲资源优先分配给在该卖方处败标的买方,这种再利用空闲资源的方式,不仅会增加买卖双方的收益,而且最大化利用了空闲的资源,不会造成资源的浪费.该拍卖算法步骤见算法 2.

算法 2. 多对多的买方多标密封拍卖算法.

输入:所有的买方投标、所有的卖方投标;

输出:所有成交的买方与卖方组合.

BEGIN

1. 买方选择多个心仪的卖方进行密封投标,并将投标提交给系统;

2. 卖方接收到投标后,按投标的效用值对投标买方进行降序排序,并按照这个排序将其空闲资源预分配给投标买方;

3. 卖方将其胜标范围内的买方(在预分配中,资源可以满足的买方),以及胜标范围外的买方(在预分配中,资源不足分配的买方)提交给系统;

4. 系统统计每个重复胜标买方(即该买方的标在多个卖方处获胜)的卖方列表 ls ,以及存在重复胜标卖方(即该卖方中出现重复胜标买方)的买方列表 lb ;

5. 有重复胜标买方将选择 ls 列表中效用值最大的卖方,并拒绝其他卖方,将结果反馈给卖方;

6. 每个重复胜标的卖方将剔除掉没有选择他的重复胜标买方,并将其剩余资源根据效用从大到小的顺序尽可能预分配给在该卖方处败标队列中没有胜标的买方;

7. 根据预分配的结果,系统组织胜标的买方按照其投标价与卖方达成交易,拍卖阶段结束;

8. RETURN 所有成交的买方与卖方组合

END

3 性能评价

本文在仿真的过程中对资源配置与价格^[16](表 1)、供求关系^[17](表 2)和市场规模等参数进行设置.市场规模设置为 250 人、500 人、750 人和 1000 人.本文根据移动用户在一天中使用 App 的规律^[18]来设置买方进入移动社交云系统的规律.由于卖方只需将空闲资源及出售的时间段提交系统,之后就无需关注 App,因此,卖方的租赁时间段均匀分布在一天中.对于系统来说将处于不定期运行状态,当有买方进入系统时,首先会触发第 1 阶段的改进 GS 算法,为买方在其朋友圈中匹配出合适的卖方;若第 1 阶段未匹配成功,将会触发第 2 阶段的多对多的买方多标密封拍卖算法,为其分配资源;若第 1 阶段匹配成功,将不会触发第 2 阶段的资源分配.

Table 1 Resource setting and price of mobile cloud computing

表 1 移动云计算资源配置与价格

套餐名称	内存(MB)	磁盘(GB)	带宽(Mbps)	单价(元/天)
套餐 A	64	128	5	0.1
套餐 B	128	256	5	0.2
套餐 C	256	512	5	0.4
套餐 D	512	1 024	5	0.7

Table 2 Supply-Demand relation

表 2 供求关系

类别	供求关系	供求比
a	资源短缺	<0.3
b	供不应求	0.3~0.8
c	供求相当	0.8~1.2
d	供过于求	1.2~2
e	资源充足	>2

本文采用了文献[10]提出的(incentive-compatible auction mechanism,简称 ICAM)机制作为本文提出的双阶段移动社交云资源分配机制(two-stage mobile social cloud resource allocation mechanism,简称 TSRAM)的性能对比机制.在对比不同供求关系时,市场规模设置为 1000 人.在对比不同市场规模时,供求关系设置为供求平衡.

(1) 价格满意度

价格满意度是指在资源交易中对资源成交价格的满意程度.见式(18)和式(19).

$$P_b = 0.5 + 0.5 \cdot \left(1 - \frac{P_{deal}}{P_a}\right) \quad (18)$$

$$P_s = \frac{P_{deal}}{P_a} \cdot 0.5 + 0.5 \quad (19)$$

其中, P_b , P_s 分别表示买方和卖方价格满意度. P_{deal} 表示买方与卖方的资源成交价.

如图 2 所示,在资源较紧张(资源短缺、供不应求、供求相当)时,TSRAM 要略优于 ICAM,因为在 TSRAM 中,即使资源紧张,价格高,卖方会因为朋友关系为买方提供具有折扣价格的资源以保障买方的收益;在资源供给充足(供过于求,资源充足)时,ICAM 要略优于 TSRAM,因为在资源充足时,即使价格很低,买方会因为朋友关系而为卖方提供不是很低的价格以保障卖方的收益.如图 3 所示,在不同的供求关系下,卖方价格的满意度与买方的价格满意度相反.

(2) 社交信誉满意度

买方的社交信誉满意度见式(5)和式(6),卖方的社交信誉满意度见式(10)和式(11).从图 4 和图 5 可以看出,TSRAM 要远优于 ICAM.TSRAM 是基于社交关系建立的资源交易机制,且在资源分配中同时考虑了用户间的朋友关系和用户信誉方面的收益,而在 ICAM 中,该机制侧重于资源分配的效率与资源交易的价格,没有考虑用户在交易中的社交效益.

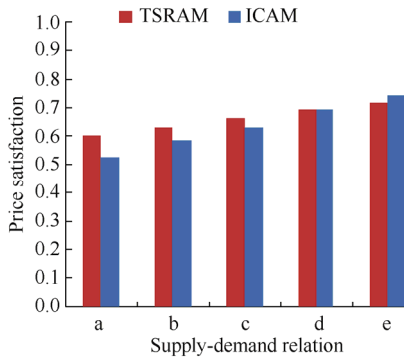


Fig.2 Price satisfaction of buyers

图 2 买方价格满意度

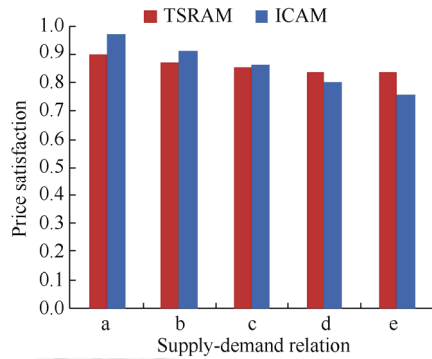


Fig.3 Price satisfaction of sellers

图 3 卖方价格满意度

(3) 资源交易成功率

资源交易成功率是指在市场中请求的资源能够被满足的比例.在相同的供求关系中,交易成功率越高,说明越充分利用了空闲资源.在交易过程中,由于用户间进行交易的资源要受到服务质量、保留价格等因素的限制,所以实际能够进行交易的资源要少于市场中的空闲资源总量,可能导致有买方购买不到资源.但当市场规模变大时,用户选择的机会更多,更容易找到符合自身需求的资源,将有很小的可能导致买方购买不到资源.从图 6 和图 7 可以看出,TSRAM 优于 ICAM,首先,ICAM 侧重于价格收益,卖方会根据买方投标的价格将资源分配给价格高的买方,但是没有在去除重复胜标的买方后再重新分配卖方的资源,因此造成了资源浪费;其次,在 TSRAM 中,第 2 阶段的拍卖机制是以价格与信誉效益为主导,并在去除重复胜标后重新分配了资源.

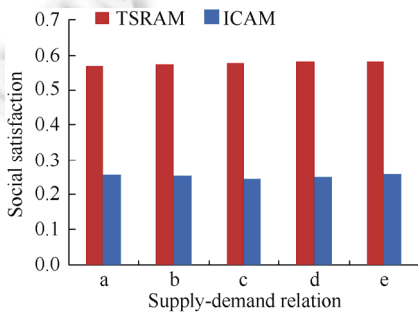


Fig.4 Social reputation satisfaction of buyers

图 4 买方社交信誉满意度

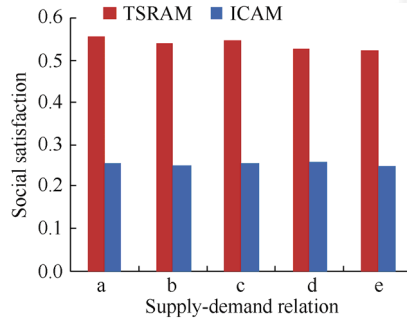


Fig.5 Social reputation satisfaction of sellers

图 5 卖方社交信誉满意度

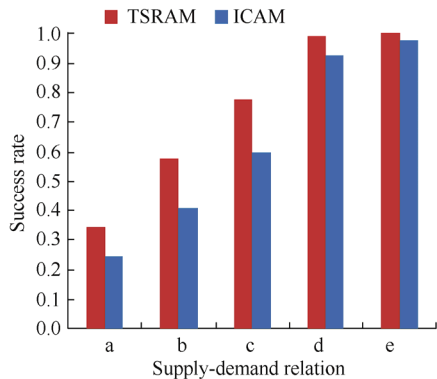


Fig.6 Success rate in different supply-demand relations

图 6 不同供求关系下交易成功率

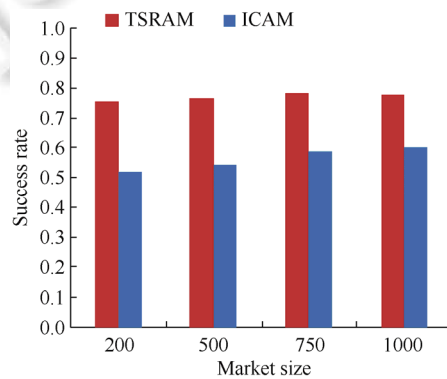


Fig.7 Success rate in different market sizes

图 7 不同市场规模下交易成功率

(4) 时间开销

资源分配的时间开销指在进行一次资源分配时所花费的时间.如图 8 所示,随着市场规模增大,ICAM 优于 TSRAM.因为 ICAM 只实现了拍卖机制,而 TSRAM 实现了双阶段的资源分配机制.在 TSRAM 中,当市场规模在 250 人~1000 人之间时,时间开销为 0.154ms~0.587ms,时间开销小,能够快速响应买方与卖方的需求,不仅确保了资源使用时的实时性,而且保证了在不同卖方中请求到来源不同的多个资源时,数据在不同源之间的同步与一致性.从图 8 的趋势图可以看出,随着市场规模的增大,TSRAM 时间开销会有所增加,系统将存在着一定的延时,将不能确保资源使用时的实时性.因此,在小型和中型市场规模下,TSRAM 适合实时性要求比较高的用户;在大型市场规模下,TSRAM 适合于延时容忍度高的用户.

(5) 算法复杂度

在本文提出的双阶段移动社交云资源分配机制中,对于资源分配的第 1 阶段是根据改进 GS 算法来匹配卖方与买方,由算法 1 的流程可知,改进 GS 算法的时间复杂度取决于市场规模,随着市场规模的增大,每个买方轮询到卖方的次数也要增加,因此,资源分配的第 1 阶段时间复杂度为 $O(n^2)$.对于资源分配的第 2 阶段是根据多对多的买方多标密封拍卖算法来匹配卖方与买方,由算法 2 的流程可知,算法的时间复杂度取决于剔除重复胜标买方数量,因此,该算法时间复杂度为 $O(n^2 \log n)$.

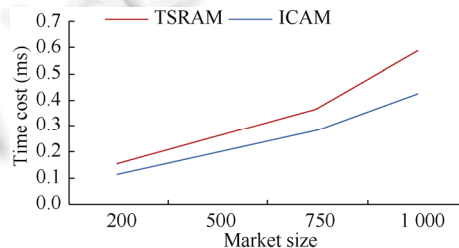


Fig.8 Time cost

图 8 时间开销

4 结束语

本文利用了众包的思想,通过设备之间互连共享轻量级云资源的方式解决了移动 App 中计算、存储等问题,实现了双方互利共赢.本文基于改进 GS 匹配算法和多对多的买方多标密封拍卖算法设计并仿真实现了移动社交云资源分配机制.该机制不仅利用社交关系实现了资源共享,而且在满足买卖双方的利益下,利用拍卖机制充分使用了空闲资源.仿真结果表明,本文设计的 TSRAM 机制在整体性能上都要优于基准 ICAM 机制.

本文只是对设计的移动社交云资源管理机制进行了初步实现,该机制还存在着安全、能耗等一些有待改进.当系统存在恶意用户(例如卖方向系统提交了超出自己空闲资源的虚假信息)时,会导致该机制出现一定的信任安全问题.若用户之间需要长时间连接共享资源时,会消耗大量的电量,致使卖方耗电量不能继续使用为买方提供服务(或者导致买方耗电量不能继续使用卖方的资源)的情况.此外,本文只初步实现了小型和中型市场规模的资源分配,没有考虑在大型市场规模下的时间开销.因此,在未来研究工作中,设计一个合理、安全和高效的资源管理系统,并将其应用到实际生活中,是我们需要重点考虑的问题.

References:

- [1] Miluzzo E. I'm Cloud 2.0, and I'm not just a data center. IEEE Internet Computing, 2014,18(3):73-77. [doi: 10.1109/mic.2014.53]
- [2] Abolfazli S, Sanaei Z, Ahmed E, Gani A, Buyya R. Cloud-based augmentation for mobile devices: Motivation, taxonomies, and open challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014,16(1):337-368. [doi: 10.1109/surv.2013.070813.00285]
- [3] Chard K, Caton S, Rana O, Bubendorfer K. Social cloud: cloud computing in social networks. In: Proc. of the 3rd IEEE Int'l Conf. on Cloud Computing. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2010. 99-106. [doi: 10.1109/cloud.2010.28]
- [4] Yin ZY, Yu FR, Bu SR, Han Z. Joint cloud and wireless networks operations in mobile cloud computing environments with

- telecom operator cloud. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2015,14(7):4020–4033. [doi: 10.1109/twc.2015.2416177]
- [5] Wang XW, Wang XY, Che H, Li KQ, Huang M, Gao CX. An intelligent economic approach for dynamic resource allocation in cloud services. IEEE Trans. on Cloud Computing, 2015,3(3):275–289. [doi: 10.1109/tcc.2015.2415776]
- [6] Javed B, Bloodsworth P, Rasool RU, Munir K, Rana O. Cloud market maker: An automated dynamic pricing marketplace for cloud users. Future Generation Computer Systems, 2016,54:52–67. [doi: 10.1016/j.future.2015.06.004]
- [7] Wang XY, Wang XW, Huang M. A multiple attribute decision and bidding based cloud resource dynamic allocation method. In: Proc. of the 8th Annual ChinaGrid Conf. Washington: IEEE Computer Society, 2013. 22–27. [doi: 10.1109/chinagrid.2013. 15]
- [8] Wang XM, Chen XM, Wu WW. Towards truthful auction mechanisms for task assignment in mobile device clouds. In: Proc. of the IEEE Conf. on Computer Communications (IEEE INFOCOM). New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. 1–9. [doi: 10.1109/infocom.2017.8057198]
- [9] Zheng ZZ, Gui Y, Wu F, Chen GH. STAR: Strategy-Proof double auctions for multi-cloud, multi-tenant bandwidth reservation. IEEE Trans. on Computers, 2015,64(7):2071–2083. [doi: 10.1109/tc.2014.2346204]
- [10] Jin AL, Song W, Zhuang WH. Auction-Based resource allocation for sharing cloudlets in mobile cloud computing. IEEE Trans. on Emerging Topics in Computing, 2015. [doi: 10.1109/tetc.2015.2487865]
- [11] Niyato D, Wang P, Hossain E, Saad W, Han Z. Game theoretic modeling of cooperation among service providers in mobile cloud computing environments. In: Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conf. (WCNC). New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2012. 3128–3133. [doi: 10.1109/wcnc.2012.6214343]
- [12] Srinivasa KG, Srinidhi S, Kumar KS, Shenvi V, Kaushik US, Mishra K. Game theoretic resource allocation in cloud computing. In: Proc. of the 5th Int'l Conf. on the Applications of Digital Information and Web Technologies (ICADIWT). Washington: IEEE Computer Society, 2014. 36–42. [doi: 10.1109/icadiwt.2014.6814667]
- [13] Su Z, Xu QC, Fei MR, Dong MR. Game theoretic resource allocation in media cloud with mobile social users. IEEE Trans. on Multimedia, 2016,18(8):1650–1660. [doi: 10.1109/tmm.2016.2566584]
- [14] Gale D, Shapley LS. College admissions and the stability of marriage. The American Mathematical Monthly, 1962,69(1):9–15. [doi: 10.23236/ad0251958]
- [15] Yeow KW, Heng SH, Tan SY. On the security of two sealed-bid auction schemes. In: Proc. of the 19th Int'l Conf. on Advanced Communication Technology (ICACT). New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. 58–63. [doi: 10.23919/icact.2017.7890057]
- [16] Baidu App Engine. 2017-03-12. <https://cloud.baidu.com/product/bae.html>
- [17] Sun JJ, Wang XW, Gao CX, Huang M. Resource allocation scheme based on neural network and group search optimization in cloud environment. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2014,25(8):1858–1873. (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/4555.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.004555]
- [18] Baidu Mobile Statistics. 2017-03-12. <https://mtj.baidu.com/web/welcome/login>

附中文参考文献:

- [17] 孙佳佳,王兴伟,高程希,黄敏.云环境下基于神经网络和群搜索优化的资源分配机制.软件学报,2014,25(8):1858–1873. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/4555.htm> [doi: 10.13328/j.cnki.jos.004555]



李雪(1993—),女,黑龙江肇东人,硕士生,主要研究领域为未来互联网,云计算.



王学毅(1979—),男,博士,讲师,主要研究领域为云计算,网络安全.



王兴伟(1968—),男,博士,教授,博士生导师,CCF高级会员,主要研究领域为未来互联网,云计算,网络空间安全.



黄敏(1968—),女,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为智能算法设计与优化,调度理论与方法.