

# 基于图匹配理论的云任务与云资源满意“婚配”方法

匡桂娟<sup>1,2,3</sup>, 曾国荪<sup>1,3</sup>, 曹 洁<sup>1,3</sup>, 熊焕亮<sup>1,3,4</sup>

(1. 同济大学计算机科学与技术系, 上海, 201804; 2. 青岛农业大学理学与信息学院, 山东青岛, 266109;  
3. 国家高性能计算机工程技术中心同济分中心, 上海, 201804; 4. 江西农业大学软件学院, 江西南昌, 330045)

**摘 要:** 目前的云资源管理策略多从云资源提供商的角度出发, 而资源使用方的资源偏好考虑很少. 本文开展满足云任务与云资源双方偏好的满意婚配资源管理方法研究. 根据用户任务的资源请求, 以及资源提供商的资源管理策略, 关注一方对另一方的偏好程度, 依据偏好计算双方对资源配置的双方综合满意度, 建立资源满意婚配图模型, 运用图匹配理论证明了资源满意婚配的存在性, 并给出最大满意度资源分配方案. 最后通过实验测试所提出方法的有效性.

**关键词:** 云计算; 资源管理; 双方偏好; 综合满意度; 满意婚配模型

**中图分类号:** TP338      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2014)08-1582-05

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>      **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.08.019

## Satisfactory Marriage Method Between Cloud Tasks and Resources Based on Graph Theory

KUANG Gui-juan<sup>1,2,3</sup>, ZENG Guo-sun<sup>1,3</sup>, CAO Jie<sup>1,3</sup>, XIONG Huan-liang<sup>1,3,4</sup>

(1. Department of Computer Science and Technology, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. School of Science and Information Science, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China;

3. Tongji Branch, National Engineering & Technology Center of High Performance Computer, Shanghai 201804, China;

4. Software College, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China)

**Abstract:** In cloud computing system, most of the existing cloud resource management methods are developed for the resource providers, while few for the users. This paper proposed a satisfactory marriage method between the cloud tasks and resources to meet the preferences of the resource user as well as the provider fairly. The user's requirement of cloud resources and the cloud provider's resource management strategies are extracted as their preferences to the other side. Then, the both-side satisfactions of a resource allocation are calculated. The cloud system resource management system is modeled as a weighted bipartite graph. The existence of the satisfactory marriage scheme is proved and an algorithm is developed based on graph theory to get it. The experiment results demonstrate that our method is valid.

**Key words:** cloud computing; resource management; two-sides preference; comprehensive satisfaction degree; satisfactory marriage model

## 1 引言

National institute of standards and technology (NIST) 定义的云计算是通过无处不在地、便捷地、按需地对共享的可配置的计算资源网络访问的模式, 使得服务提供者和用户都能够通过最少的付出来管理和使用资源. 云计算追求目标中既考虑服务提供者又关注服务的使用者. 云中心资源管理是云计算成功与否的重大挑战<sup>[1]</sup>.

徐格等<sup>[2]</sup>指出的, 目前云计算中资源管理仍多沿用传统的网格资源的管理方法, 没有真正考虑用户需求. 云计算用户任务对于资源的偏好能够通过 Service Level Agreement (SLA) 来体现, 并保证应用任务的性能指标等. 但是, 现在的云计算中心仍是资源方利益占优, 资源管理追求资源的整合和负载的均衡<sup>[3,4]</sup>. 李强等<sup>[5]</sup>虽然提出了带 SLA 约束的遗传算法, 但对用户资源偏好的关注并不明显. 徐格等<sup>[2]</sup>从效用最大化的角度提出一种

云资源调度模型进行虚拟机与物理机之间的映射,关注了用户的价格等 SLA 目标,但依然从云运营商的角度进行管理.无法很好地实现供需双方利益的均衡.徐猛等<sup>[6]</sup>提出的资源选择策略重视 SLA 中的用户需求,常桂然等<sup>[7]</sup>提出了基于免疫克隆的偏好多维 QoS 的云资源多目标优化算法,但这两种方法都没有讨论资源提供者的资源使用策略.2013 年, Xu 等<sup>[8]</sup>提出 Anchor 资源管理框架,同时关注了用户和资源双方偏好,并将其从管理框架的耦合中剥离,运用稳定匹配理论解决虚拟机共享物理资源的问题,稳定匹配理论最早起源于婚姻匹配问题<sup>[9]</sup>,其参与匹配的主体多关注自己的利益,从而导致分配方案的双方总体满意度可能会较低.在运筹学领域,李铭洋等<sup>[10]</sup>给出了考虑双方满意度的匹配方法,但无法直接应用于云计算环境中.

综合以上,本文将提出一种关注双方偏好的云任务与云资源满意婚配方法,以便平衡资源供需双方的关注和利益.

## 2 云任务与云资源满意婚配问题描述

云计算从服务形态上可分为 Infrastructure-as-a-Service (IaaS)、Platform-as-a-Service (PaaS)、Software-as-a-Service (SaaS),从服务模式上又可分为公有云、私有云和混合云. IaaS 提供商以虚拟机 (VM) 的形式对外提供服务.应用层 (SaaS) 将用户的请求映射为应用实例,一个应用实例需要一个或者多个 VMs 来保证 SLA 约定的性能.本文讨论在公有云中,应用实例到云资源上的映射问题.本文称一个应用实例为一个云任务.

下面是满意婚配问题涉及的几个概念.

**定义 1 云资源:**指直接参与计算处理的服务器、计算机、或虚拟化后的计算节点.云资源  $R$  可用四元组表示,  $R = (\lambda, rs, v, p)$ , 其中  $\lambda$  是资源类型;  $rs = (rs_1, rs_2, \dots, rs_N)$ , 每一维描述一项关键性能,  $v$  指计算能力;  $p$  指服务价格.所有云资源集合  $RS = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ .

**定义 2 云任务:**指来自云用户的,请求云平台提供计算资源、执行任务处理、满足服务质量的服务请求.云任务  $T$  用五元组表示,  $T = (\lambda, I, rs, c, \tau)$ , 其中  $\lambda$  是计算类型;  $I$  是任务计算量;  $rs$  是对资源性能的需求;  $c$  是云用户愿意支付的代价;  $\tau$  是任务完成时间.系统中所有云任务表示为集合  $TS = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ .

为界定我们的研究范围,假定:(1)云任务与云资源是不可分的.对于可划分云任务  $t_i = \{t_{i1}, \dots, t_{ik}\}$ ,将多个子任务看成粒度更小的云任务.对于可执行多个任务的云资源,将其虚拟化为多个更小的资源.(2)云任务数量小于云资源数量.本文资源供需双方地位对等,反之,可从云资源的视角考虑匹配问题.

**定义 3 云任务对云资源的偏好:**一个云任务  $T_i$  对

云资源的偏好是云资源集合  $RS$  的一个子集,是  $T_i$  有意愿选择的云资源的集合,用  $S_R(T_i)$  表示,  $S_R(T_i) = \{R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jx}\}$ .  $T_i$  对在  $R_j (R_j \in S_R(T_i))$  上执行的意愿大小用偏好值  $td_{ij}$  来度量,取值规定在  $[0, 1]$  之间.

**定义 4 云资源对云任务的偏好:**一个云资源  $R_j$  对云任务的偏好是云任务集合  $TS$  的一个子集,是  $R_j$  按照资源提供策略有意愿执行的云任务的集合,用  $S_T(R_j)$  表示,  $S_T(R_j) = \{T_{j1}, T_{j2}, \dots, T_{jy}\}$ .  $R_j$  对执行  $T_i (T_i \in S_T(R_j))$  的意愿大小用偏好值  $rd_{ij}$  来度量,取值规定在  $[0, 1]$  之间.

**定义 5 双方满意度:**在一个资源分配方案中,云任务  $T_i$  与云资源  $R_j$  对于被匹配到一起的认可程度称为双方满意度,用  $d_{ij}$  表示.  $d_{ij}$  的大小与双方偏好集  $S_R(T_i)$  与  $S_T(R_j)$ , 以及相应的偏好值  $td_{ij}$  和  $rd_{ij}$  有关.

**定义 6 综合满意度:**对于一个资源分配方案  $\eta$ ,  $\eta \subseteq TS \times RS$ , 所有匹配对的双方满意度  $d_{ij}$  的总和称为  $\eta$  的双方综合满意度,记为  $d(\eta)$ , 即  $d(\eta) = \sum_{(T_i, R_j) \in \eta} d_{ij}$ .

本文研究的满意婚配问题是在有多个资源分配方案  $\{\eta | \eta \subseteq TS \times RS\}$  的云系统中,寻找一个一一映射方案,使其在所有资源分配方案中双方综合满意度最大.

## 3 综合满意度计算

计算云任务  $T_i$  与云资源  $R_j$  对被匹配在一起的双方满意度  $d_{ij}$ ,首先要计算云任务对云资源的偏好值  $td_{ij}$  和云资源对云任务的偏好值  $rd_{ij}$ .

### 3.1 云任务与云资源偏好值的确定

本文采用文献[4]匹配矩阵  $TM$  来表示云任务与云资源的匹配程度,其中  $tm_{ij}$  取  $[0, 1]$  之间的数值,表示云任务  $T_i$  在云资源  $R_j$  上执行的适合程度和执行效率.

$$TM = \begin{bmatrix} tm_{11} & tm_{12} & \dots & tm_{1n} \\ tm_{21} & tm_{22} & \dots & tm_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ tm_{m1} & tm_{m2} & \dots & tm_{mn} \end{bmatrix}$$

#### 3.1.1 云任务对云资源偏好值的计算

云任务对云资源偏好值主要受到资源计算能力、资源性能、资源价格等的影响.

(1)云资源  $R_j$  对  $T_i$  类云任务的处理能力必须大于  $T_i$  所要求.  $T_i$  对  $R_j$  在计算能力方面的满意度值为:

$$td_{ij}^c = \begin{cases} 1, & \text{if } R_j \cdot v * tm_{ij} \geq \frac{T_i \cdot I}{T_i \cdot \tau} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

(2)云资源  $R_j$  性能  $R_j \cdot rs$  必须满足  $T_i$  性能需求  $T_i \cdot rs$ , 即  $R_j \cdot rs_k \leq T_i \cdot rs_k$ . 在满足需求的前提下  $R_j$  的性能越高越好.  $T_i \cdot rs$  中的各分量采用归一化表示,例如 1 个单

位的 CPU 等价于一个 2007 Intel Xeon 1GHz 的单核处理器,1 个单位的内存等价于 512MB PC-10600 DDR3 类型的内存等.  $T_i$ .rs 各分量的比例反映  $T_i$  对  $R_j$  不同方面性能的偏好,用向量  $\omega_i = (\omega_{i1}, \dots, \omega_{iN})$  表示,其中  $\omega_{ik}$  表示  $T_i$  对于  $R_j$  第  $k$  维性能的偏好权重,  $\omega_{ik} = T_i.rs_k / \sum_{k=1}^N T_i.rs_k$ ,  $\sum_{k=1}^N \omega_{ik} = 1$ .  $T_i$  对于  $R_j$  第  $k$  维性能的满意度值用  $td_{ij}^{rs}(k)$  表示.  $T_i$  对于  $R_j$  的性能方面满意度值为:

$$td_{ij}^{rs} = \begin{cases} \sum_{k=1}^N \omega_{ik} \cdot td_{ij}^{rs}(k), & \text{if } \exists k (td_{ij}^{rs}(k) < 0) \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

其中  $td_{ij}^{rs}(k) = \frac{R_j.rs_k - T_i.rs_k}{\max_{1 \leq j \leq n} R_j.rs_k - T_i.rs_k}$  (2)

(3)在云任务  $T_i$  预算允许的范围,  $R_j$  的价格越低越好. 云任务  $T_i$  对云资源  $R_j$  的价格满意度值为:

$$td_{ij}^p = \begin{cases} \frac{T_i.c - R_j.p \cdot (T_i.I/R_j.v \cdot mt_{ij})}{T_i.c}, & \text{if } R_j.p \cdot (T_i.I/R_j.v \cdot mt_{ij}) \leq T_i.c \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$
 (3)

上面公式(1)(2)是关于资源性能方面的描述,公式(3)是对资源价格的描述,对数据进行极差处理,得到云任务  $T_i$  对云资源  $R_j$  的  $[0,1]$  区间的偏好值  $td_{ij}$  为:

$$td_{ij} = \frac{td_{ij}^c \cdot td_{ij}^{rs} \cdot td_{ij}^p - \min_{1 \leq i \leq n} (td_{ij}^c \cdot td_{ij}^{rs} \cdot td_{ij}^p)}{\max_{1 \leq i \leq n} (td_{ij}^c \cdot td_{ij}^{rs} \cdot td_{ij}^p) - \min_{1 \leq i \leq n} (td_{ij}^c \cdot td_{ij}^{rs} \cdot td_{ij}^p)}$$
 (4)

### 3.1.2 云资源对云任务偏好值的确定

云资源对云任务偏好值主要受到任务类型、管理策略、执行性价比等的影响.

(1)按照云资源提供方的不同资源管理策略,对 TS 有不同的排序方式.用  $s(T_i)$  表示  $T_i$  的排序位,参考文献[11]中方法将匹配偏好序转化为序数值,最后将  $T_i$  序数值  $s(T_i)$  转换为  $[0,1]$  之间的偏好值.  $R_j$  按资源使用策略对  $T_i$  的满意度值为:

$$rd_{ij}^l = (1/s(T_i))^\theta, 0 < \theta \leq 1$$
 (5)

(2)云资源  $R_j$  对  $T_i$  的执行效益为  $pt_{ij} = T_i.p / (T_i.I / (R_j.v \cdot mt_{ij}))$ ,云资源  $R_j$  对云任务  $T_i$  在执行性价比方面的满意度为:

$$rd_{ij}^c = (pt_{ij} - \min_{1 \leq k \leq m} (pt_{kj})) / (\max_{1 \leq k \leq m} (pt_{kj}) - \min_{1 \leq k \leq m} (pt_{kj}))$$
 (6)

结合与云任务  $T_i$  类型匹配程度,云资源  $R_j$  对云任务  $T_i$  的偏好值  $rd_{ij}$  为:

$$rd_{ij} = tm_{ij} \times rd_{ij}^l \times rd_{ij}^c$$
 (7)

### 3.2 双方满意度的确定

接下来构建双方满意度矩阵  $D = [d_{ij}]_{m \times n}$ ,  $d_{ij}$  计算公式如下:

$$d_{ij} = f(\zeta_i \cdot td_{ij} + \zeta_r \cdot rd_{ij}) + g(|td_{ij} - rd_{ij}|)$$
 (8)

$f(\zeta_i \cdot td_{ij} + \zeta_r \cdot rd_{ij})$  是一个严格单调递增函数,体现双方相互满意的程度.  $g(|td_{ij} - rd_{ij}|)$  为一个非增函数,体现双方偏好差异对总体满意度的影响. 函数  $f$  设计为  $f = \zeta_i \cdot td_{ij} + \zeta_r \cdot rd_{ij}$ ,  $\zeta_i$  和  $\zeta_r$  分别代表资源管理策略对云任务偏好和云资源偏好的关注程度系数,满足  $\zeta_i + \zeta_r = 1$ .

$$g(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x < \frac{1}{2\sqrt{2}} \\ \frac{1}{2\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}}x, & \text{if } x \geq \frac{1}{2\sqrt{2}} \end{cases}$$

表示偏好值差距越小的双方被匹配在一起越合理. 最后,对矩阵  $D$  进行规范化处理,使元素取值在  $[0,1]$  之间.

## 4 云任务与云资源满意婚配问题建模与求解

### 4.1 云任务与云资源满意婚配的图模型

可借鉴图匹配理论中的最佳匹配理论来将其建模为云任务-云资源赋权二分图  $G(TS, RS, E)$ , 如图 1 所示,其中,圆圈代表云任务,方框代表云资源,云任务顶点集合为  $TS = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ , 云资源顶点集合为  $RS = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ . 若  $T_i$  可在  $R_j$  上执行,则二者之间有一条无向边  $e_{ij}$  关联,  $E = \{e_{ij} | e_{ij} = (T_i, R_j)\}$ ,  $T_i$  与  $R_j$  对被资源分配方案  $\eta$  匹配的双方满意度  $d_{ij}$  作为边  $e_{ij}$  权值.

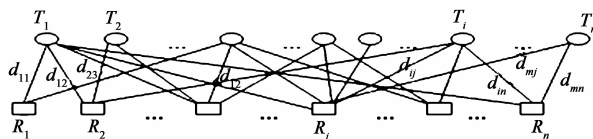


图1 云任务-云资源赋权二分图

**定义 7 云任务与云资源婚配:** 云任务-云资源赋权二分图  $G(TS, RS, E)$  上的一个婚配  $\eta$  是指边集  $E$  的一个子集,其任意两条边在  $G$  中无公共顶点. 婚配  $\eta$  中所有边的权值之和为婚配  $\eta$  的权,记为  $d(\eta) = \sum_{e_{ij} \in \eta} d_{ij}$ .  $T_i$  和  $R_j$  被  $\eta$  婚配,记为  $\eta \propto T_i, \eta \propto R_j$ . 若  $\eta_c$  是  $G$  的一个婚配,且对  $\forall T \in TS$ , 有  $\eta \propto T$ , 则称  $\eta_c$  为从 TS 到 RS 的完全婚配.

云任务与云资源满意婚配问题就转化为在赋权二分图  $G(TS, RS, E)$  中寻找最大权婚配  $\eta^*$  的问题.

### 4.2 基于图匹配理论的云任务与云资源满意婚配方法

图论中最佳匹配算法(KM)是求赋权完全二分图  $G_{n,n}$  中最大权值完全匹配的算法<sup>[11]</sup>. 但云任务与云资源满意婚配图模型并不必然是一个完全赋权二分图  $G_{n,n}$ , 为此要对图 1 所示的  $G_{m,n}(TS, RS, E)$  进行改造, 将其调整为一个完全赋权二分图  $G_{n,n}$ . 称这个调整过程为二分图的增虚过程, 包括: (1) 增加虚拟云任务节

点  $T_{m+1}, \dots, T_n$ , 使得  $|TS| = |RS|$ . (2) 在未关联的云任务  $T_p$  与云资源  $R_q$  间增加虚拟边  $ve_{pq} = (T_p, R_q)$ , 记虚拟边集合为 VE, 虚拟边的权值是一个不影响资源满意婚配结果的极小正数  $\epsilon$ .

#### 4.2.1 云任务与云资源满意婚配的存在性

**定理 1** 云任务-云资源赋权二分图  $G_{m,n}(TS, RS, E)$  经过增虚过程得到的完全赋权二分图  $G_{n,n}$  中的最大权婚配  $\eta$  是一个完全婚配.

**证明** 设  $\eta$  是完全赋权二分图  $G_{n,n}$  中 TS 到 RS 的一个最大权婚配,  $\eta$  的边数为  $h$ . 假设  $\eta$  不是 TS 到 RS 的完全婚配, 则有  $h < m \leq n$ , 即在 TS 与 RS 中均有主体未被匹配. 这里不妨假设  $T_p$  未被匹配满足, 则必存在一个  $R_q$  也没有被满足, 且有  $d_{pq} = \epsilon > 0$ , 因此可将边  $(T_p, R_q)$  加入到  $\eta$  中, 构造具有更大权值的婚配. 这与  $\eta$  是最大权婚配矛盾. 由定义 7 知道,  $\eta$  是 TS 到 RS 的一个完全婚配, 证毕.

**定理 2**  $\eta$  为 KM 算法求得的  $G_{n,n}$  中最大权婚配, 则  $\eta^* = \eta - VE$  是云任务-云资源赋权二分图  $G_{m,n}(TS, RS, E)$  中的最大权婚配.

**证明** 由定理 1 知  $\eta$  是  $G_{n,n}$  中 TS 到 RS 的完全婚配,  $\eta^* = \eta - VE$  是将  $\eta$  中的虚拟边删除. 采用反证法证明, 假设  $\eta^*$  不是  $G(TS, RS, E)$  的最大权匹配, 则另有  $G(TS, RS, E)$  的最大权匹配  $\eta'^*$ , 即  $\sum_{e_j \in \eta'} d_{ij} > \sum_{e_j \in \eta^*} d_{ij}$ . 对  $\eta'$  补充虚拟边集  $VE'$ ,  $VE' \subseteq VE$ , 构造  $G_{n,n}$  的一个完全婚配  $\eta'$ , 满足:

$$\begin{aligned} d(\eta'^*) &> d(\eta^*), d(\eta') \\ &= \sum_{e_j \in VE'} d_{ij} + d(\eta'^*), d(\eta) \\ &= \sum_{e_j \in \eta \wedge e_j \in VE} d_{ij} + d(\eta^*) \end{aligned} \quad (9)$$

由  $G_{n,n}$  的构造过程, 知道  $\sum_{e_j \in \eta \wedge e_j \in VE} d_{ij} \ll \sum_{e_j \in \eta^*} d_{ij}$ ,  $\sum_{e_j \in VE'} d_{ij} \ll \sum_{e_j \in \eta'} d_{ij}$ , 易知  $d(\eta') > d(\eta)$ , 与  $\eta$  是  $G_{n,n}$  的最大权婚配矛盾. 证毕.

满意婚配问题, 首先利用 KM 算法在  $G(TS, RS, E)$  增虚后的完全图  $G_{n,n}$  求最佳匹配  $\eta$ , 之后运用定理 2 求  $G(TS, RS, E)$  的最大权婚配  $\eta^*$ .

#### 4.2.2 云任务与云资源满意婚配算法 CTRSM (Cloud Tasks-Resources Satisfactory Matching Algorithm)

**算法 1** 云任务-云资源满意婚配算法 CTRSM

输入:  $TS = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ ,  $RS = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$

输出: 满意婚配  $\eta^* = \{(T_i, R_j) \mid i \in [1..m], j \in [1..n]\}$ ,  $d(\eta^*)$

CTRSM( )

{ for  $\forall T_i \in TS, \forall R_j \in RS$  do }

    calculate  $td_{ij}^e, td_{ij}^s, rd_{ij}^e, rd_{ij}^s$  according to formula (1)(2)(3)(4) respectively;

    calculate  $rd_{ij}^l, rd_{ij}^r, rd_{ij}$  according to formula (5)(6)(7) respectively;

    calculate  $d_{ij}$  according to formula (8); }

for  $\forall i \in [1..m], \forall j \in [1..n]$  do }

    if  $d_{ij} = 0$  then  $ad_{ij} = \epsilon$  else  $ad_{ij} = d_{ij}$ ; }

$\eta = \text{KM}(\text{AD})$ ;  $VE = \{(T_p, R_q) \mid ad_{pq} = \epsilon\}$ ;

$\eta^* = \eta - VE$ ;

return  $\eta^*, d(\eta^*)$ ;

}

## 5 模拟实验与结果分析

实验使用一台 Intel 奔腾双核 E5800、3.2GHz、Microsoft Server 2003 的 Dell PC 机, 利用 CloudSim<sup>[12]</sup> 模拟云计算环境, 为减少实验误差, 每组实验重复 10 次, 取平均值作为实验样本数据.

(1) 保持云任务数和云资源数始终一致, 数量从 10 ~ 100 变化,  $\zeta_i$  取值对算法 CTRSM 综合满意度的影响, 如图 2. 当  $\zeta_i = 0.1(0.9)$  时, 云资源满意度均值  $rd$  高于 (低于) 云任务的满意度均值  $td$ ;  $\zeta_i = 0.5$  时, 双方偏好被均衡考虑. 以下几组实验均取  $\zeta_i = 0.5$ . 比较 CTRSM 与单方求婚的稳定匹配算法<sup>[9]</sup>, 结果如图 3. 可以看出 CTRSM 算法资源分配方案的综合满意度  $dd$  最高.

(2) 固定云资源个数, 云任务个数从 10 ~ 100 变化, 考察云任务数对 CTRSM 综合满意度的影响, 并比较云资源的个数为 100, 200, 500 时的婚配方案综合满意度, 实验结果如图 4 曲线呈下降趋势, 说明云资源数大于云任务数的情况下, 可供选择的云资源越多, 越易得到满意的资源匹配结果. 云资源数为 200 的曲线相比较于 100 的曲线, 有明显提高, 也说明了这一点. 但云资源数为 500 的曲线相比较于 200 的曲线, 则双方综合满意度均值虽有提高却不明显, 说明云资源增加到一定数目后, 不再显著影响双方综合满意度.

## 6 结束语

本文关注云资源供需双方资源使用偏好, 提出了一种云任务与云资源满意婚配的资源管理方法, 用来均衡双方权益. 建立了云任务与云资源满意婚配图模型, 运用图匹配理论证明了云任务与云资源满意婚配的存在性, 给出了最大满意度资源分配方案. 实验表明满意婚配方法可以按需地考虑双方偏好, 有效地平衡双方利益.

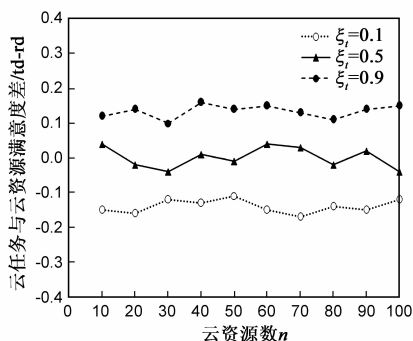
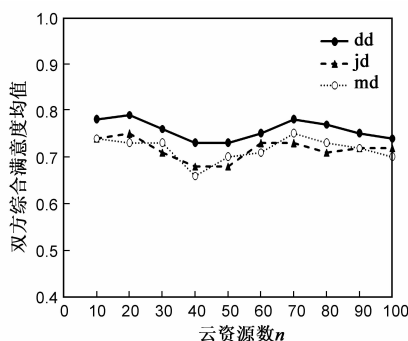
图2  $\xi$ 对综合满意度的影响

图3 CTRSM与GS算法比较

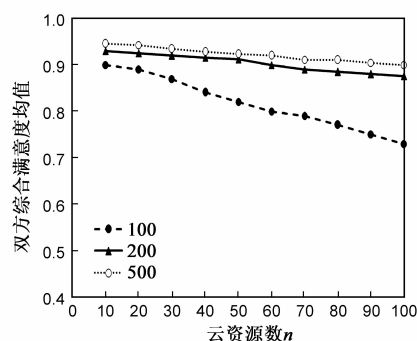


图4 云任务云资源数量的影响

## 参考文献

- [1] M Armbrust, A Fox, R Griffith, et al. Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing[R]. Dept Electrical Eng and Comput Sciences, University of California, Berkeley, Rep UC/EECS-2009-28, 2009.
- [2] 师雪霖, 徐格. 云虚拟机资源分配的效用最大化模型[J]. 计算机学报, 2013, 36(2): 252 - 261.  
Shi Xuelin, Xu Ke. Utility maximization model of virtual machine scheduling in cloud environment[J]. Chinese Journal of Computer, 2013, 36(2): 252 - 261. (in Chinese)
- [3] X Meng, C Isci, J Kephart, et al. Efficient resource provisioning in compute clouds via vm multiplexing[A]. Proceedings of the 7th International Conference on Autonomoc Computing[C]. New York: ACM, 2010. 11 - 20.
- [4] 谭一鸣, 曾国荪, 王伟. 随机任务在云计算平台中能耗的优化管理方法[J]. 软件学报, 2012, 23(2): 266 - 278.  
Tan Yiming, Zeng Guosun, Wang Wei. Policy of energy optimal management for cloud computing platform with stochastic tasks[J]. Chinese Journal of Software, 2012, 23(2): 266 - 278. (in Chinese)
- [5] 李强, 郝沁汾, 肖利民, 等. 云计算中虚拟机放置的自适应管理与多目标优化[J]. 计算机学报, 2011, 34(12): 2253 - 2264.  
Li Qiang, Hao Qinfen, Xiao Limin, et al. Adaptive management and multi-objective optimization for virtual machine placement in cloud computing[J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(12): 2253 - 2264. (in Chinese)
- [6] 徐猛, 崔立真, 李庆忠. 基于扩展图规划的 Top-K 服务组合方法研究[J]. 电子学报, 2012, 40(7): 1404 - 1409.  
Xu Meng, Cui lizhen, Li Qingzhong. An extended graph-planning based top-K service composition method[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(7): 1404 - 1409. (in Chinese)
- [7] 孙大为, 常桂然, 李风云, 等. 一种基于免疫克隆的偏好多维 QoS 云资源调度优化算法[J]. 电子学报, 2011, 39(8): 1824 - 1831.  
Sun Dawei, Chang Guiran, Li Fengyun, et al. Optimizing multi-dimensional QoS cloud resource scheduling by immune clonal with preference[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(8): 1824 - 1831. (in Chinese)
- [8] H Xu, BC Li. Anchor: A Versatile and efficient framework for resource management in the cloud[J]. IEEE Transtractions on Parallel and Distributed Systems, 2013, 24(6): 1066 - 1076.
- [9] D Gale, LS Shapley. College admissions and the stability of marriage[J]. Am Math, 1962, 69(1): 9 - 15.
- [10] 李铭洋, 樊治平, 刘洋. 一种基于偏好序信息的双边匹配方法[J]. 运筹与管理, 2012, 21(4): 113 - 119.  
Li Mingyang, Fan Zhiping, Liu Yang. A method for two-sided matching based on preference ordinal information[J]. Operations Research and Management Science, 2012, 21(4): 113 - 119. (in CHinese)
- [11] 王树禾. 图论[M]. 北京: 科学出版社, 2009. 67 - 82.  
Wang Shuhe. Graph Theory [M]. Beijing: Science Press, 2009. 67 - 82. (in Chinese)
- [12] R N Calheiros, R Ranjan, CAF D Rose, et al. CloudSim: A toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms [J]. Software: Practice and Experience, 2011, 41(1): 23 - 50.

## 作者简介



匡桂娟 女, 1972 年生于山东青岛. 同济大学电子与信息学院博士. 研究方向为分布式计算、云计算.  
E-mail: lgkuang@tongji.edu.cn



曾国荪 男, 1964 年生于江西, 博士, 教授, 博导, 研究方向为异构计算、并行计算、信息安全.  
E-mail: gszeng@tongji.edu.cn