

# 云环境下基于改进遗传算法的虚拟机调度策略

袁爱平<sup>1</sup>, 万灿军<sup>2\*</sup>

(1. 长沙民政职业技术学院 软件学院, 长沙 410004; 2. 湖南大学 计算机与通信学院, 长沙 410082)

(\* 通信作者电子邮箱 641816195@qq.com)

**摘要:**针对云环境下服务器内部多种资源间分配不均衡问题,提出了一种多维资源协同聚合的虚拟机调度算法 MCCA。该算法在分组遗传算法的基础上,采用模糊逻辑及基于资源利用率多维方差的控制参量,设计适应度函数指导搜索解空间。算法使用基于轮盘赌法的选择方法,并对交叉和变异等进行了优化,以实现快速有效地获取近似最优解。在 CloudSim 环境下进行了仿真,实验结果表明该算法对均衡多维资源分配和提高资源综合利用率具有一定的优势。

**关键词:**云计算;虚拟机;多维均衡;分组遗传算法

**中图分类号:** TP301 **文献标志码:** A

## Virtual machine deployment strategy based on improved genetic algorithm in cloud computing environment

YUAN Aiping<sup>1</sup>, WAN Canjun<sup>2\*</sup>

(1. Department of Software, Changsha Social Work College, Changsha Hunan 410004, China;

2. School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China)

**Abstract:** Aiming at improving the resource utilization of data center by balanced usage of multiple resources, a scheduling algorithm based on group genetic algorithm for multi-dimensional resources coordination was proposed to solve the virtual machine deployment problem. To guide the solution searching, a fuzzy logic based multi-dimensional fitness function was raised. Meanwhile, innovative optimization of crossover and mutation was put forward to improve the solution quality. The results of simulation in CloudSim environment prove that using the proposed algorithm can obtain better multi-dimensional resources performance and higher resource utilization rate.

**Key words:** cloud computing; virtual machine; multi-dimensional balancing; group genetic algorithm

## 0 引言

随着信息技术和网络应用的快速发展,云计算作为一种全新的计算模式,已越来越受到工业界和学术界的关注,有代表性的云计算实例有 Amazon 的弹性云、IBM 蓝云、Google 的云计算等。各云计算服务提供商为了提高综合竞争力,不断通过资源的调度整合来提高资源的利用率。虚拟机调度作为云计算资源配置中的关键技术之一,通过以虚拟机为封装单元,将虚拟机映射到物理机器上来实现应用的负载均衡。由于虚拟机对资源的需求是多元且不同的,分别对应着不同维度的资源类型,如 CPU、内存、I/O 和网络带宽等,为了获得资源利用的最大化,可将该问题描述为多维向量装箱问题<sup>[1]</sup>。由于问题的 NP-hard 性质<sup>[2]</sup>,需要找到一个近似最优解,以实现资源的高效均衡分配。

很多学者针对装箱问题及其变体展开了大量的研究。文献[3]通过随机装箱优化来处理虚拟化数据中心节点的整合,但只考虑了 CPU 的资源,没有处理多维资源的约束;文献[4]采用多维资源间的最大最小公平原则来提高云环境下系统资源的综合利用率;文献[5]以最小化服务器数量为优化

目标,涵盖了多维资源间的约束条件,提出了一种面向多维资源配置的通用数学模型。通过分析发现,现有的大多数研究要么只考虑了单约束条件下的问题,或是简单地将单维资源约束扩充为多维资源约束,没有体现多维资源间的共存和依赖关系,因而不能通过多维资源的协同聚合来提高资源的综合利用率。本文在分组遗传算法的基础上,提出了一种多维资源协同聚合的虚拟机调度算法 MCCA,通过引入基因评估参数来衡量服务器资源的综合利用率,设计“最大—最小”加权模糊逻辑真值传递策略的适应度函数来促进算法快速有效地收敛。另外,为了获得算法的近似最优解,在选择和变异操作中进行了优化。最后通过云仿真计算器 CloudSim<sup>[6]</sup>进行了仿真,仿真结果表明本文算法均衡了服务器资源的分配,减少了隐性资源浪费现象,提高了资源的综合利用率。

## 1 调度算法模型

假设有  $n$  个虚拟机调度请求,定义为  $N = \{VM_i | 1 \leq i \leq n\}$ ,另有  $m$  台可用的物理服务器,定义为  $M = \{PS_i | 1 \leq i \leq m\}$ 。虚拟机需物理服务器上的多维资源来实行运算,定义虚拟机  $i$  对  $j$  类型资源的需求量为  $q_{i,j}$ ,则该虚拟机对资源的请求

收稿日期:2013-08-23;修回日期:2013-10-17。

基金项目:湖南省教育规划基金资助项目(XJK011BXJ006);湖南省科技计划项目(2012GK3062)。

作者简介:袁爱平(1975-),男,湖南邵阳人,高级工程师,硕士,主要研究方向:嵌入式系统、计算机网络、知识工程;万灿军(1982-),男,湖南岳阳人,博士研究生,主要研究方向:可信软件、软件动态演化、高效能计算。

向量为  $q_i = \{q_{i,1} \ q_{i,2} \ \cdots \ q_{i,k}\}$ 。同样,定义物理服务器  $i$  能提供  $j$  类型的资源容量为  $c_{i,j}$ , 其能提供的资源容量向量为  $c_i = \{c_{i,1} \ c_{i,2} \ \cdots \ c_{i,k}\}$ 。用  $u_{i,j}$  表示服务器  $i$  在资源类型  $j$  维度的利用率,将虚拟机放置的目标和约束定义如下:

目标函数:

$$\begin{cases} \text{Min}(PS_{num}) \\ \text{Max}\left(\text{avg}_i\left(\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k u_{i,j}\right)\right) \end{cases} \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum_i \sum_k q_{i,k} \leq \sum_j c_j; 1 \leq i \leq n \text{ 且 } 1 \leq j \leq m \quad (2)$$

目标函数表示启动最少的物理服务器以获得最大的多维资源利用率,约束条件确保了服务器被分配的资源不超过其容量上限。

由于  $u_{i,j}$  表示服务器  $i$  在资源类型  $j$  维度的利用率,用  $\tilde{u}_i$  表示服务器  $i$  上所有资源的平均利用率,如式(3)。同时,定义基因评估参数  $\lambda_i$ , 它由服务器资源的平均利用率及资源利用率的多维方差两部分构成,用以确定染色体中各个基因是否具有较高的多维协同聚合关系,计算方法如式(4)。

$$\tilde{u}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k u_{i,j} \quad (3)$$

$$\lambda_i = \frac{\tilde{u}_i}{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (u_{i,j} - \tilde{u}_i)^2} \quad (4)$$

从基因评估参数的定义可以看出,更高的基因评估值意味着服务器具有较小的维度间利用率偏差和更高的综合资源利用率,这样就可以保证染色体的各个基因尽可能地具有多维协同的聚合效应。

## 2 算法实现

如上所述,本文在设计算法时重点考虑多维资源之间的均衡调度,以实现最小化服务器使用数量和最大化多维资源综合利用率的目標。基于服务器聚合思想的虚拟机调度属于组合优化中的装箱问题,而传统的二维和三维装箱问题作为一维装箱问题的空间泛化,不适用于解决多维聚合的资源调度问题<sup>[7]</sup>。同时,传统的遗传算法由于编码等问题对于分组问题的适应性很差<sup>[8]</sup>。因此,本文提出了一种改进的分组遗传算法来求解虚拟机的调度问题。该算法在分组遗传算法的基础上,采用模糊逻辑及基于资源利用率多维方差的控制参量,设计算法搜索函数指导搜索解空间。另外算法采用了基于轮盘赌法的选择优化,并对交叉和变异等进行了优化,以快速有效地获取近似最优解,其算法流程如图1所示。

### 2.1 基因编码

在分组遗传算法中,染色体中的每个基因代表一个服务器,基因的值是服务器上装载的虚拟机集合,也即虚拟机的一个分组,如图2所示,A、B代表服务器,1~5代表虚拟机,染色体的编码为:AB(A: {1,4}, B: {2,3,5})。这样编码的好处是染色体的基因位数由服务器的数量决定,不会造成编码的长度过长,从而影响计算的效率。另外分组编码在交叉和变异等操作中不会破坏服务器的硬约束条件。

### 2.2 适应度函数

适应度函数的选取对遗传算法能否找到最优解以及算法的收敛速度起着重要作用。为了达到启动物理服务器最小化

和实现资源综合利用率最大化的目标,适应度函数的设计应综合考虑启用物理机器的数量和多维资源的均衡程度。前面定义了单一基因位的评估参量  $\lambda_i$ , 反映了单个服务器的资源利用率和多维均衡度。对于由多个基因位组成的染色体个体,评估染色体个体优劣的重要因素就是物理机的需求数量和多维资源的均衡度。为了便于描述多维资源的均衡度,将基因评估参量的90%置信区间值定义为个体的宏观均衡指标。假设  $T(x)$  表示逻辑表达式  $x$  的二元真值,  $r(\pi)$  表示分配方案  $\pi$  的矩阵秩,则方案  $\pi$  的宏观均衡指标为:

$$b_m = \left\{ x \left| \frac{\sum_{i=1}^{r(\pi)} T(\lambda_i \geq x)}{r(\pi)} \geq 0.90 \right. \right\} \quad (5)$$

由于宏观均衡指标和物理机的需求数量这两个评估参量分别具有不同的量纲和数量级,很难判断它们对问题可行解的影响程度,因此采用 Max-Min 原则的加权模糊逻辑理论来对双因素评估进行整合和量化描述<sup>[9]</sup>。分别记  $b_m$  为宏观均衡指标,  $n_{as}$  为物理机的需求数量,它们的权重为  $w_1$  和  $w_2$ , 其成员变量隶属度为  $T(b_m)$  和  $T(n_{as})$ , 隶属度的真值等于各成员变量的隶属函数值,则多维分组遗传算法的适应度函数为:

$$T(y) = 1 - \max \left( \frac{w_1 + \min(w_1 + w_2)}{\max(w_1, w_2) + \min(w_1, w_2)} (1 - T(b_m)), \frac{w_2 + \min(w_1 + w_2)}{\max(w_1, w_2) + \min(w_1, w_2)} (1 - T(n_{as})) \right) \quad (6)$$

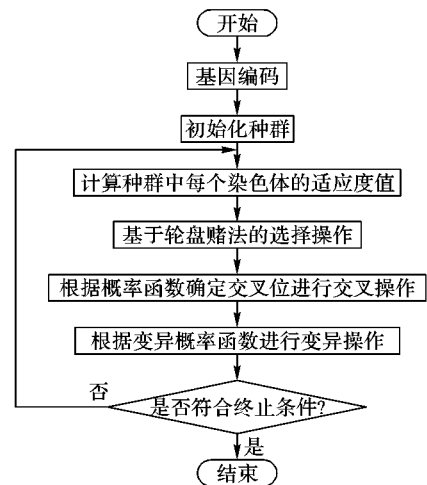


图1 算法整体流程

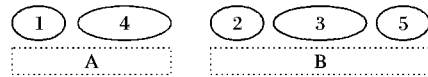


图2 算法中的基因编码示例

### 2.3 选择

选择操作一般是从每次迭代产生的个体中选择适应度值较高的个体进入下一代种群中,但若仅挑选适应度高的个体容易使解陷入局部最优,因此采用轮盘赌法来选择个体。首先根据适应度函数计算每个个体的适应度值和种群的适应度总和,然后计算个体的适应度值在总和中所占的比例,以此作为该个体的选择概率  $p_s(a_i)$ , 再计算第  $k$  个个体的累计选择概率  $p_s^*(a_k) = \sum_{i=1}^k p_s(a_i)$ 。随后产生一个0至1之间的随机数  $e$ , 若  $p_s^*(a_{k-1}) < e < p_s^*(a_k)$ , 则选择第  $k$  个个体。这种选择

算法随机性较强,并能保证适应度值高的个体能有较高的概率进入到下一代种群中。

#### 2.4 交叉

交叉算子在遗传进化过程中起到全局搜索的重要作用,如每次迭代中选择评估值最优的基因进行交叉,则容易使算法陷入局部最优,出现早熟收敛现象;如随机选择交叉位则会造造成全局搜索效率的下降,因此引入可调参数的概率函数在保证较高评估值基因优势的基础上制造全局搜索随机性。首先将染色体中的基因按照评估参量值进行排序,定义排在第 $\theta$ 位的基因被选择为交叉位的概率为 $p(\theta)$ ,服从如式(7)所示的分布函数,根据经验, $\varepsilon$ 的取值为2。可以看出评估值较高的基因具有较大的概率被选择为交叉位,同时概率的随机性保证了全局搜索的性能。

$$p(\theta) \sim \theta^{-\varepsilon}; \varepsilon \geq 0 \quad (7)$$

选择交叉位进行交叉操作之后,去掉含有相同虚拟机的服务器编码,同时采用首次适应递减法(First Fit Decreasing, FFD)<sup>[10]</sup>方式回填因消除服务器而失去从属关系的虚拟机。

#### 2.5 变异

变异算子赋予个体以很小的概率产生转变,使个体更加逼近最优解。变异算子使得遗传算法具有局部的随机搜索能力,同时保持了种群的多样性,以防止出现非成熟收敛。为了保证局部的搜索能力,变异率不能过大,如果变异率大于0.5%,遗传算法就退化成随机搜索,因此设置变异概率函数如下:

$$p_m = \begin{cases} k_1 \frac{(f_{\max} - f)}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f \geq f_{\text{avg}} \\ k_2, & f < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $f_{\max}$ 为种群中最大的适应度值, $f_{\text{avg}}$ 为每代群体的平均适应度值, $f$ 为要变异的个体适应度值。当适应度函数值较大( $f \geq f_{\text{avg}}$ )时,应该让 $p_m$ 较小,防止适应度函数值较大的个体被破坏;当适应度函数值较小( $f < f_{\text{avg}}$ )时,应该让 $p_m$ 较大以开辟新的搜索区域。在本文中设定 $k_1 = 0.003, k_2 = 0.0042$ 。通过引入自适应变异概率函数,根据种群适应度的情况调整变异概率,不仅提高了最优解的收敛速度,同时使得算法不易陷入早熟情况。

#### 2.6 终止条件

本文根据最优跨度适应度函数值的标准差来决定算法的终止,如式(9)所示:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f(i) - f_{\text{avg}})^2}{N}} < \zeta; \zeta \in (0, 1) \quad (9)$$

式中: $f(i)$ 表示第 $i$ 个个体的适应度值; $f_{\text{avg}}$ 为当代群体的平均适应度值; $N$ 为种群大小; $\zeta$ 为收敛阈值,在这里取 $\zeta = 0.1$ ,当标准差小于这个阈值时终止迭代,否则继续进行遗传进化。

### 3 仿真实验

本文采用云计算仿真工具 CloudSim 进行仿真,为了验证多维聚合算法 MCCA 的有效性,通过与该领域最新提出的多维资源调度算法 DRF<sup>[4]</sup>以及常用服务器聚合算法 FFD 进行比较。实验运行的工作负载实例综合 Feitelson<sup>[11]</sup>和 Mishra<sup>[12]</sup>等参数设置,同时将工作负载规模分为 100、300、500、800 及 1000 个虚拟机五个实例,每个实例中的算法均运

行 30 次取平均值作为性能分析的依据。

物理服务器的使用数量是衡量服务器聚合算法性能的重要指标。MCCA、优势资源公平法(Dominant Resource Fairness, DRF)和 FFD 算法在物理服务器消耗方面的性能比较如图 3 所示。由图中可以看到,由于 MCCA 达到了较好的多维均衡性,因此不论何种规模的工作负载,都能够获得最优的资源投入性能。通过分析发现,MCCA 相比 DRF、FFD 算法分别节省 5% 和 12.2% 的服务器使用量。据统计,服务器等硬件投入占到数据中心资金总投入的 60%,该优化结果相当于在虚拟化基础上又节省近 10% 的资金投入,同时较少的运行机器消耗更少的电能,有助于实现数据中心的高密度、低成本良性发展。MCCA 之所以能够减少服务器使用数量,是由于其在调度中综合考虑了虚拟机的资源需求特性以及服务器的各维资源容量,通过虚拟机的多维合理聚合使服务器的空余资源达到均衡,为后续虚拟机的调度提供了更多的可能性,最终实现服务器各维资源物尽其用,相应地减少了服务器的需求数量。

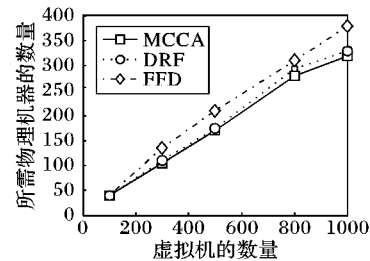


图3 物理机器使用数量比较

除了物理服务器的使用数量,系统资源的综合利用率也是衡量调度算法性能优劣的重要依据。图 4 是 MCCA、DRF 和 FFD 算法在多维资源综合利用率方面的比较。由图中可以看到,MCCA 相比 DRF、FFD 算法获得了 6.8% ~ 13.1% 的提高,并且 MCCA 算法具有较小的标准差,表明算法在稳定性方面具有一定的优势。由于 MCCA 在虚拟机调度过程中注重调节服务器多维资源之间利用率的增长比率,每次调度虚拟机时尽量满足服务器多维资源之间的互补关系,防止出现因一种或几种资源过早饱和而抑制其他资源使用的现象,所以从整体上提高了资源的综合利用率。

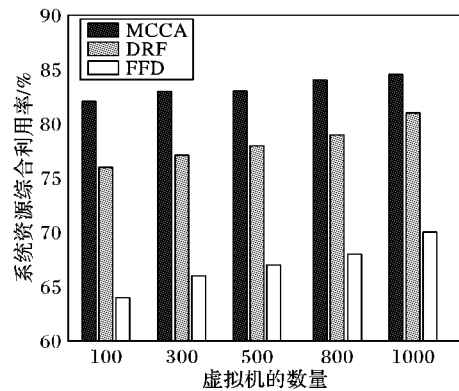


图4 系统资源综合利用率比较

### 4 结语

随着云计算的出现,数据中心资源的虚拟化以及多用户应用的异构化,使得服务器内部多种资源间分配越来越不均衡,严重影响了系统资源的使用效率。本文在分组遗传算法

(下转第 364 页)

平台下的负载均衡策略研究提供了新的解决方案。

#### 参考文献:

- [1] GROSSMAN R L. The case for cloud computing [J]. *IT Professional*, 2009, 11(2): 23 - 27.
- [2] LIU P. Cloud computing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010: 1 - 16. (刘鹏. 云计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 1 - 16.)
- [3] YI X, WENG C. Load balance approach to save power on cloud datacenter[J]. *Journal of Frontiers of Computer Science & Technology*, 2012, 6(4): 327 - 332. (易星宇, 翁楚良. 面向云计算中心效能优化的负载均衡方法[J]. *计算机科学与探索*, 2012, 6(4): 327 - 332.)
- [4] GUO P, LI Q. Load balancing scheduling algorithm based on classifying the server by their load[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology: Nature Science Edition*, 2012, 40(S1): 62 - 65. (郭平, 李琪. 基于服务器负载状况分类的负载均衡调度算法[J]. *华中科技大学学报: 自然科学版*, 2012, 40(S1): 62 - 65.)
- [5] SCHROEDER T, GODDARD S, RAMAMURTHY B. Scalable Web server clustering technologies[J]. *IEEE Network*, 2000, 14(3): 38 - 45.
- [6] ZHAO Y, HUANG W. Adaptive distributed load balancing algorithm based on live migration of virtual machines in cloud[C]// *Proceedings of the 5th International Joint Conference on INC, IMS and IDC*. Piscataway: IEEE, 2009: 170 - 175.
- [7] CHEN Z. Resource allocation for cloud computing base on ant colony optimization algorithm[J]. *Journal of Qingdao University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2012, 33(6): 619 - 623. (陈真. 基于蚁群优化算法的云计算资源分配[J]. *青岛科技大学学报: 自然科学版*, 2012, 33(6): 619 - 623.)
- [8] HUU T T, THAM C K. An auction-based resource allocation model for green cloud computing[C]// *Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Cloud Engineering*. Piscataway: IEEE, 2013: 269 - 278.
- [9] ZHANG Z, ZHANG X. A load balancing mechanism based on ant colony and complex network theory in open cloud computing federation[C]// *Proceedings of the 2nd International Conference on Industrial Mechatronics and Automation*. Piscataway: IEEE, 2010: 240 - 243.
- [10] WANG S C, YAN K Q, LIAO W P, *et al.* Towards a load balancing in a three-level cloud computing network[C]// *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*. Piscataway: IEEE, 2010: 108 - 113.
- [11] CHENG C, ZHANG D, XU Y, *et al.* A sub-state adaptive load balancing strategy for cloud computing [J]. *Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications: Natural Science*, 2012, 32(4): 53 - 58. (程春玲, 张登银, 徐玉, 等. 一种面向云计算的分态式自适应负载均衡策略[J]. *南京邮电大学学报: 自然科学版*, 2012, 32(4): 53 - 58.)
- [12] LI J, SUN L, ZHANG Q, *et al.* Application of naive Bayes classifier to text classification[J]. *Journal of Harbin Engineering University*, 2003, 24(1): 71 - 74. (李静梅, 孙丽华, 张巧荣, 等. 一种文本处理中的朴素贝叶斯分类器[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2003, 24(1): 71 - 74.)
- [13] GAO W, KANG F. Cloud simulation resource scheduling algorithm based on multi-dimension quality of service[J]. *Information Technology Journal*, 2012, 11(1): 94 - 101.

(上接第359页)

框架的基础上,进行了模糊逻辑的多维搜索函数设计,提出了一种高效的基于多维资源协同聚合的虚拟机调度算法,实现了数据中心资源的高效均衡分配。最后,通过与该领域最新提出的多维资源调度算法 DRF 和经典聚合调度算法 FFD 比较,证明了该调度算法的有效性和高效性。

#### 参考文献:

- [1] HYSER C, MCKEE B, GARDNER R, *et al.* Autonomic virtual machine placement in the data center, HPL-2007-189[R]. [S. l.]: HP Labs, 2007.
- [2] MICHAEL R G, DAVID S J. Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness[M]. San Francisco: W. H. Freeman Publishers, 1979.
- [3] CHEN M, ZHANG H, SU Y, *et al.* Effective VM sizing in virtualized data centers[C]// *Proceedings of the 12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management*. Piscataway: IEEE, 2011: 594 - 601.
- [4] GHODSI A, ZAHARIA M, KONWINSKI A, *et al.* Dominant resource fairness: Fair allocation of heterogeneous resources in datacenters[C]// *Proceedings of the 8th USENIX Conference on Networked Systems Design and Implementation*. Berkley: USENIX Association, 2011: 2 - 3.
- [5] SPEITKAMP B, BICHLER M. A mathematical programming approach for server consolidation problems in virtualized data centers [J]. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2010, 3(4): 266 - 278.
- [6] CALHEIROS R N, RANJAN R, de ROSE C A F, *et al.* CloudSim: a novel framework for modeling and simulation of cloud computing infrastructures and services[EB/OL]. [2013-06-03]. <http://www.cloudbus.org/reports/CloudSim-ICPP2009.pdf>.
- [7] AMOSSEN R R, PISINGER D. Multi - dimensional bin packing problems with guillotine constraints[J]. *Computers and Operations Research*, 2010, 37(11): 1999 - 2006.
- [8] FALKENAUER E, DELCHAMBRE A. A genetic algorithm for bin packing and line balancing[C]// *Proceedings of 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Piscataway: IEEE, 1992: 12 - 14.
- [9] WANG J. Max-min weighted fuzzy logic[J]. *Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications*, 2006, 11(1): 94 - 96. (王靖. “最大—最小”加权模糊逻辑[J]. *西安邮电学院学报*, 2006, 11(1): 94 - 96.)
- [10] MARTELLO S, TOTH P. Knapsack problems : algorithms and computer implementations[J]. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 1990, 29(3): 12 - 16.
- [11] FEITELSON D G. Workload modeling for computer systems performance evaluation[EB/OL]. [2013-06-20]. <http://www.cs.huji.ac.il/~feit/wlmod/>.
- [12] MISHRA A, HELLERSTEIN J L, CIRNE W, *et al.* Towards characterizing cloud backend workloads: insights from google compute clusters[J]. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 2009, 37(4): 34 - 41.