·计算机工程与应用·

基于双适应度遗传退火的云任务调度算法

徐　洁，朱健琛，鲁　珂

(电子科技大学计算机科学与工程学院　成都　611731)

【摘要】云计算是当前计算机领域研究的热点，其中云任务调度算法性能的好坏直接影响到云计算平台的整体性能。为了满足云计算平台庞大用户群的不同服务需求，针对现有的云计算任务调度算法提出一种双适应度遗传退火任务调度算法(DFG2A)，基于该任务调度算法的任务调度策略能够有效平衡用户对任务各项属性的需求，提高云计算平台的用户满意度。实验结果证明了该算法能兼顾云计算平台总任务执行时间和用户需求，是云计算环境下一种有效的任务调度算法。

关　键　词　云计算;　CloudSim;　双适应度;　遗传退火;　任务调度

中图分类号　TP393　　文献标志码　A　　doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.06.017

Task Scheduling Algorithm Based on Dual Fitness Genetic Annealing Algorithm in Cloud Computing Environment

XU Jie, ZHU Jian-chen, and LU Ke

(School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China　Chengdu　611731)

Abstract　Cloud computing is a hot spot in computer research field, in which the performance of task scheduling algorithm directly affects total performance of cloud computing systems. For satisfying users' different service requirements, a dual fitness genetic annealing algorithm (DFG2A) is presented. Task scheduling scheme based on this algorithm can balance different attribute requirements for each task, and improve customer satisfaction index of platform. The simulation results show that DFG2A can achieve a balance between task running time and user requirements.

Key words　cloud computing;　CloudSim;　dual fitness;　genetic annealing;　task scheduling

云计算[1]是近几年信息领域研究的热点，它是继网格计算、分布式计算和并行计算之后又一种新型的商业计算模式。云计算通过计算机网络或者互联网把庞大的存储或者计算处理程序分布部署到大量的网络或者集群的分布式计算机中，为不同用户提供存储、计算等各种服务。与传统的高性能计算机系统相比，云计算系统能够使用更加低廉的硬件设备更加高效地完成用户任务。目前，云计算的服务层次主要包括IaaS(基础设施即服务)、PaaS(平台即服务)、SaaS(软件即服务)。云计算提供的各种服务有个共同点：利用大量的低性能设备协同工作完成从前需要高性能设备才能完成的任务，降低了服务成本，提高了服务质量。不同用户对云计算平台所提供的任务有不同的需求，如完成时间、故障率、提供带宽、使用费用[2]等。这就要求云计算平台的服务提供商为不同的用户定制不同的服务策略，以提高用户对平台服务质量的满意度。

云计算的任务调度算法是解决用户任务分配策略的一种途径。迄今的云计算任务调度算法只是从用户需求的单一或部分属性来考虑，没有做到全面平衡用户的需求。为此，本文提出了一种双适应度遗传退火算法(dual fitness genetic annealing algorithm，DFG2A)，它使云计算平台能够根据不同用户需求动态定制任务的调度解决方案，动态平衡用户对各种属性的需求，同时保证云计算平台对任务的执行时间。实验仿真将该算法与其他同类任务调度算法进行了比较，分析结果表明该任务调度算法能够更好地提升用户的满意度，同时也能高效完成云计算任务的调度工作。

1　云计算任务调度建模

1.1　任务调度模型

云计算任务调度的主要目的是为各个云计算用户任务分配合适的虚拟机执行，使得这些任务完成

收稿日期：2012－03－09；修回日期：2012－09－16

基金项目：四川省应用基础研究基金(2010JY0001)

作者简介：徐洁(1963－)，女，教授，主要从事计算机网络与通信、网络多媒体技术、网络安全和嵌入式系统等方面的研究.

后所获得的用户满意度较好，主要包括任务完成时间、带宽占用、故障率、用户费用以及QoS等方面。云计算系统中使用成熟的虚拟化技术将物理层的硬件资源重新映射到虚拟层中，通过这种方式来简化任务的调度流程，把调度的任务映射和资源映射从原始硬件的选择转化为对虚拟机的选择。云计算的任务调度模型如图1所示。

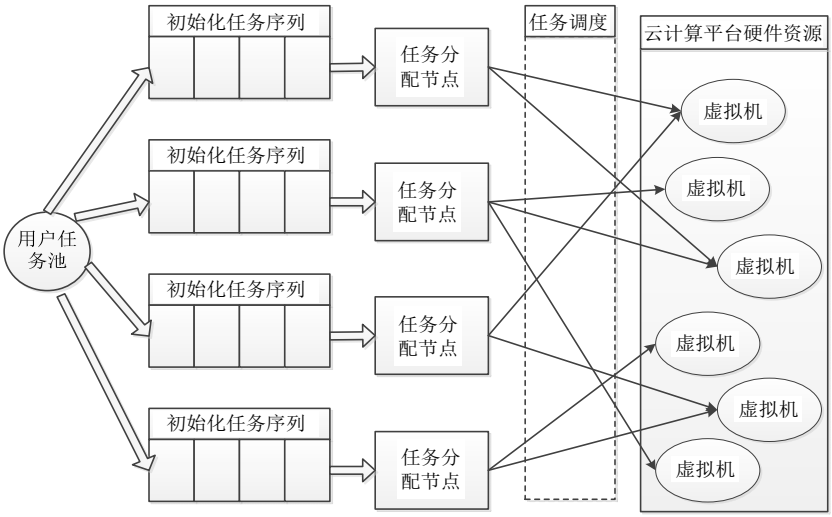

图1　云计算任务调度模型

1.2　云计算任务描述

设一个云计算的用户任务可用十元组表示为：

$$T=\{\mathrm{ID},\mathrm{PE},L,\mathrm{Input},\mathrm{Output},\mathrm{ET},\mathrm{EBW},\mathrm{EF},\mathrm{EP},J\} \quad (1)$$

式中，ID表示该任务的编号；PE表示执行该任务所需的执行单元个数；L表示任务总长度；Input表示MapReduce[3-4]过程中的一个Map输入大小；Output表示MapReduce过程中的一个Reduce输出大小；ET表示用户的期待完成时间；EBW表示用户的期待带宽；EF表示用户可以容忍的故障率；EP表示用户的期待任务费用；J表示用户对该任务的完成离散度。

在云计算平台完成执行该任务后，所得的用户满意度直接由J决定。当J>0时，表示该用户对任务需求的实际获取值要大于用户所期待的获取值；当J<0时，表示该用户没有得到所期待的任务需求。$|J|$越小，表明云计算系统能够使用越少的资源为用户提供满意的服务，同时也表明云计算任务调度算法的性能越理想。

1.3　虚拟机资源描述

设一个虚拟机可用七元组表示为：

$$V=\{\mathrm{ID},\mathrm{CPU},\mathrm{Mips},\mathrm{Ram},\mathrm{BW},F,P\} \quad (2)$$

式中，ID表示该虚拟机的编号；CPU表示虚拟的CPU个数；Mips表示虚拟机CPU的指令执行速度；Ram表示虚拟机的内存大小；BW表示虚拟机所允许的最大带宽；F表示虚拟机的故障率；P表示单位时间内使用虚拟机的价格。

2　DFG2A进行任务调度

本文的DFG2A结合了遗传算法[5]和模拟退火算法[6-7]，对新个体的认可方式采用Metropolis准则，即以概率$\exp(-\Delta t'/T)$来接受新个体。同时，采用双适应度来进行种群的进化，即在遗传算法基础上，增加一个适应度，采用两个适应度来选择种群。

2.1　染色体编码与解码

设有T个云计算任务，W个云计算的虚拟机资源。对于种群中的任意个体，都能表示出所有云计算任务调度的一种资源分配方式，即种群中个体的染色体长度为T。染色体存在多种编码方式，本文采用间接编码方式[8]，单个DNA的取值范围为[0,W)。染色体编码的格式如表1所示，表中的VMID的取值范围为[0,W)的整数。

表1　染色体的编码方式

Task(0)	Task(1)	Task(2)	…	Task(T−1)
VMID	VMID	VMID	…	VMID

假设{1,0,2,3,4,4,1,2,0,2}为一个体的染色体编码，它表示的含义是编号为0的云计算任务被分配到编号为1的虚拟机资源上执行，编号为1的云计算任务被分配到编号为0的虚拟机资源上执行，以此类推。对染色体进行解码后，可以得到不同虚拟机资源上所分配的所有云计算任务。如对上述染色体进行解码之后，解码为W_0={1,9}, W_1={0,6}, W_2={2,7,9},

W_3={3}, W_4={4,5}。W_0={1,9}表示编号为0的虚拟机中执行了编号为1和9的两个云计算任务。

2.2 DFG2A适应度函数

云计算平台所有任务的完成时间是DFG2A进行种群染色体个体评价的一个依据，它反映了平台对任务执行的效率问题及用户任务完成及时性的问题。单个虚拟机的任务执行时间是所有执行在该虚拟机上的任务的完成时间的总和。云计算平台执行所有任务所需要的总完成时间是所有执行任务的虚拟机所要运行时间的最大值，即：

$$F(x)=\mathop{\mathrm{Max}}_{w=1}^{W}\sum_{i=1}^{n}\mathrm{Time}(w,i) \tag{3}$$

式中，$\mathrm{Time}(w,i)$是在编号为w的虚拟机上执行分配给该虚拟机的第i个任务所需要的执行时间；n为分配在编号为w的虚拟机上执行的任务个数；W是云计算平台中活动的虚拟机总个数。

云计算平台对所有任务的任务满意度是DFG2A进行种群染色体个体评价的另一个依据，它反映了云计算平台提供服务的能力以及用户对其相应任务完成情况的满意程度。首先把云计算任务元组T={ID, PE, L, Input, Output, ET, EBW, EF, EP, J}中的用户期待值，归一化到[0,1]区间。用户任务的第s个期待任务属性的归一化值Up_s为：

$$\mathrm{UP}_s=\frac{P_s-\mathrm{Min}(P_s)}{\mathrm{Max}(P_s)-\mathrm{Min}(P_s)} \tag{4}$$

式中，P_s为用户对任务的第s个属性的期待值；$\mathrm{Min}(P_s)$为用户对所有任务的第s个属性的期待值中的最小值；$\mathrm{Max}(P_s)$为用户对所有任务的第s个属性的期待值中的最大值。然后计算平台对所有任务的满意度，它体现了云计算平台所提供的服务获得的认可程度。任务完成情况的离散度J的值越小，则说明平台所获得的用户满意度越高。单个任务i的完成情况离散度J和系统总完成离散度值的计算方法为：

$$J_i=\sum_{s=0}^{S}\left|\ln\left(\frac{\mathrm{Ap}_s}{\mathrm{Up}_s}\right)\right| \tag{5}$$

$$J=\sum_{i=0}^{T}J_i \tag{6}$$

式中，J_i为第i个任务的完成情况离散度；Ap_s为该任务的第s个属性的实际完成值；Up_s为该任务的第s个属性的期待归一化值。

DFG2A的适应度函数包括云计算平台的总任务完成时间和总任务的完成离散度，计算方法为：

$$F_1(x)=\frac{Q_1}{\mathop{\mathrm{Max}}_{w=1}^{W}\sum_{i=1}^{n}\mathrm{Time}(w,i)} \tag{7}$$

$$F_2(x)=\frac{Q_2}{\sum_{i=0}^{T}\sum_{s=0}^{S}\left|\ln\left(\frac{\mathrm{Ap}_s}{\mathrm{Up}_s}\right)\right|} \tag{8}$$

式中，Q_1、Q_2为常数；T为云计算平台的用户任务数；W为云计算平台的虚拟机资源数；$\mathrm{Time}(w,i)$是在编号为w的虚拟机上执行分配给该虚拟机的第i个任务所需要的执行时间。本文所提出的双适应度结合了$F_1(x)$和$F_2(x)$这两个适应度函数，最终的每次适应度的计算方法是以概率C选择$F_1(x)$作为当前的适应度函数，以概率(1–C)选择$F_2(x)$作为当前的适应度函数。通过这种方式，最终的DFG2A算法所产生的任务调度结果可以逐步的趋向于较好的用户满意度和较小的总任务完成时间。

2.3 DFG2A流程

DFG2A的遗传操作主要包括初始种群的生成、适应度函数计算、种群个体选择、交叉和变异。算法按以下过程执行：1) 初始化控制参数。这些参数包括种群大小N，染色体长度T，适应度选择因子C，退火初始温度T_0和退火系数K等。2) 初始种群生成，为每个任务随机分配虚拟机执行。3) 为每个种群执行步骤4)～步骤9) 的操作，直到达到终止条件为止。4) 为种群中的每个个体执行步骤5)～步骤8)的操作，直到达到个体数达到种群数量上限为止。5) 通过适应度选择因子C选择当前使用的适应度函数，使用轮赌法[9]随机选择种群中的两个个体，计算种群个体的动态交叉概率P_c，并以概率P_c进行染色体交叉操作，形成新个体。6) 通过评价函数对新个体进行评价。假设上一代个体的适应度为$f(x)$，新产生个体的适应度为$f'(x)$，如果$f(x)<f'(x)$则直接接受新个体，否则，以概率$\exp(-(f(x)-f'(x))/T_i)$去接受新个体，其中，T_i为当前的退火温度。7) 计算新个体的动态变异概率P_m，对新个体以概率P_m进行变异操作，同样按照步骤6)方法判断是否接受新个体。8) 修改当前种群的进化代数，同时进行退火操作，更新退火温度。9) 到达终止条件后，找出种群中适应度最大的个体，判断个体是否满足算法收敛的条件。若满足，则DFG2A结束，生成云计算平台对用户任务的调度方案；否则该算法以失效结束，重新启动新的DFG2A。

上述步骤中，交叉概率P_c和变异概率P_m是动态变化的，P_c函数和P_m函数分别为：

$$P_c=\begin{cases}k_1(f_{max}-f')/(f_{max}-f_{min}), f'\geqslant f_{avg}\\ k_2(f_{max}-f'')/(f_{max}-f_{min}), f'\leqslant f_{avg}\end{cases} \tag{9}$$

$$P_m=k_3(f_{max}-f)/(f_{max}-f_{min}) \tag{10}$$

式中，k_1,k_2,k_3 为常数；f_{max} 为当前种群个体的最大适应度值；f_{min} 为当前种群个体的最小适应度值；f_{avg} 为当前代种群中所有个体的平均适应度值；f' 为交叉的两个体适应度的较大值；f'' 为交叉的两个体适应度的较小值；f 为变异个体的适应度值。

3　仿真实验与性能分析

为了验证DFG2A的可行性与算法性能，本文利用CloudSim云计算仿真工具[10]，结合现有的多种算法进行了一系列的仿真实验。本文模拟200个云计算用户任务需要在部署有10个虚拟机的云计算系统中进行任务调度的情况。仿真中主要需要考虑的两个评价因素是云计算平台完成所有任务的总时间，以及所有任务完成后的任务完成离散度。用户满意度与任务完成情况成反比例关系，即任务完成离散度越低，用户的满意度越高。

本文将DFG2A和目前比较常用的最优时间调度算法，以及类欧氏距离负载平衡算法(ED-LB算法)，遗传算法，模拟退火算法进行比较。其中，最优完成时间算法中已有实现。遗传算法和模拟退火算法均是多项式内求解NP完全问题近似最优解的算法。实验部分验证DFG2A算法在任务完成时间和用户满意度两个方面相比于其他云计算任务调度算法的优势性。其中，遗传算法采用任务完成时间适应度 $F_1(x)$ 和任务完成情况离散度 $F_2(x)$ 的比值作为适应度函数。同样地，模拟退火算法采用同样的比值作为评价函数。另外，两个实验中均测试了200个云计算任务在10台机器构成的云计算平台上的任务调度性能，这两个实验的各种算法进行仿真时的各项参数如表2所示。

表2　实验算法主要参数

算法	参数及取值
遗传算法(AGA)	种群大小N=100 k_1=0.350 k_2=0.780 k_3=0.085
模拟退火算法(SA)	起始温度T=200.0 ℃ 终止温度T=1.0 ℃ 退火系数K=0.950
双适应度遗传退火算法(DFG2A)	起始温度T=200.0 ℃ 终止温度T=1.0 ℃ 退火系数K=0.950 适应度选择因子C=0.450 k_1=0.350 k_2=0.780 k_3=0.085

对于云计算平台执行所有用户任务的总时间而言，DFG2A与遗传算法和模拟退火算法相比，调度算法的最终任务完成时间相近。但是，DFG2A较模拟退火算法具有更快的收敛性，并在一定程度上抑制了种群解空间局部收敛现象的发生。这说明，使用DFG2A能够较好地考虑到完成时间方面的问题。以一定的概率去接受非最优解能够防止遗传算法快收敛所造成的局部收敛现象，提高云计算作业任务调度算法的性能，如图2所示。

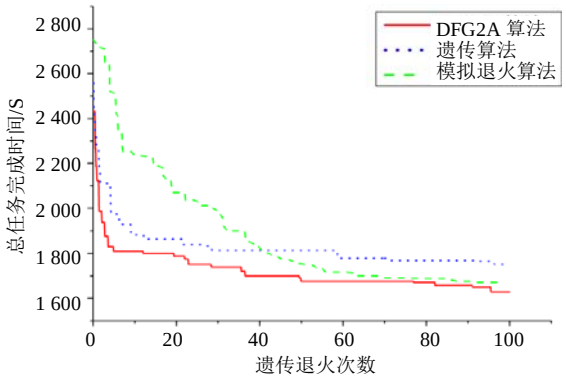

图2　总任务完成时间趋势图

最优完成时间算法和ED-LB算法与以上算法不同的是没有使用近似最优解的求解方法，而是直接在二项式时间内完成作业调度。另外最优完成时间算法只考虑了任务的完成时间，并没有考虑用户的满意度，而其他4种算法均把用户满意度考虑在内。ED-LB算法的云计算平台总任务完成时间相比其他4种算法更长，DFG2A具有最短的总任务完成时间，任务调度过程最优，如图3所示。

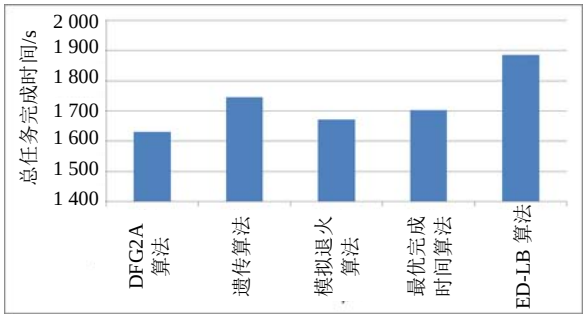

图3　总任务完成时间仿真对比图

对于用户对云计算平台所提供服务的用户满意度而言，由于DFG2A以一定的概率接受非最优解，所以它的收敛速度慢于以任务完成离散度为适应度的遗传算法。DFG2A有效避免了局部收敛效应，其最终任务完成离散度要小于遗传算法和模拟退火算法，如图4所示。DFG2A、遗传算法、模拟退火算法和类欧氏距离–负载均衡算法都考虑到了用户的

满意度问题。所以，相比于最优完成时间算法而言，它们拥有更低的用户完成离散度，即更高的用户满意度。DFG2A能够获得最低的任务完成离散度，即最高的用户满意度。最优完成时间算法获得的用户满意度要明显低于另外4种算法，如图5所示。

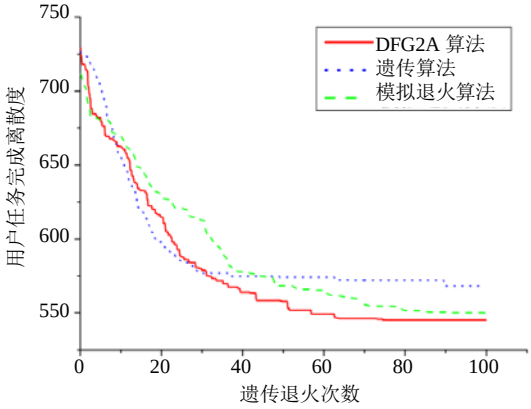

图4 用户任务完成离散度趋势图

通过以上对各种云计算任务调度算法的分析，DFG2A在各方面的性能均比较优越。与最优完成时间算法相比，DFG2A在用户满意度方面具有明显的优势；与ED-LB算法相比，DFG2A在云计算平台总任务执行时间方面有明显优势；与遗传算法和模拟退火算法相比，DFG2A能够有更快的收敛速度，同时也能很好的抑制局部收敛现象的发生。

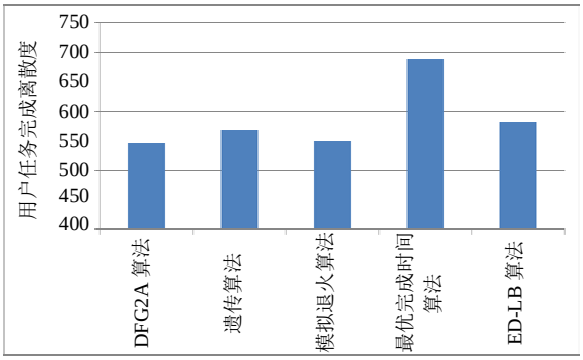

图5 用户任务完成离散度仿真对比图

4 结 束 语

本文针对云计算的任务调度提出了双适应度遗传退火算法(DFG2A)，该算法能够均衡分配云计算任务到各个虚拟机资源中，使各任务能够高效的完成。同时，它能够根据用户的不同需求动态地改变任务调度策略，使云计算平台对任务的执行最大限度地满足用户的需求。这种算法最突出的特点有：1) 对云计算任务考虑不同用户的需求；2) 利用遗传模拟退火算法解决云计算任务调度问题；3) 对种群的选择和评价采用双适应度。仿真结果表明，该算法能兼顾云计算任务的完成时间和用户对任务完成情况的满意度，更好地满足了用户的需求，提升了服务的多样性，是云环境下一种有效的作业调度算法。

参 考 文 献

[1] 过敏意. 绿色计算：内涵及趋势[J]. 计算机工程, 2010, 36(10): 1-7.
GUO Min-yi. Green computing: Connotation and tendency[J]. Computer Engineering, 2010, 36(10): 1-7.

[2] 赵春燕. 云环境下作业调度算法研究与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
ZHAO Chun-yan. Research and implementation of job scheduling algorithm in cloud environment[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.

[3] GUNARATHNE T, WU Tak-Lon, QIU J, et al. MapReduce in the clouds for science[C]//IEEE Cloud Computing Technology and Science. [S.l.]: IEEE, 2010: 565-572.

[4] ZHANG Xiao-hong, FENG Yu-hong, FENG Sheng-zhong, et al. An effective data locality aware task scheduling method for MapReduce framework in heterogeneous environments[C]//2011 International Conference on Cloud and Service Computing (CSC). [S.l.]: IEEE, 2011: 235-242.

[5] VASCONCELOS J, RAMIREZ J, TAKAHASHI R, et al. Improvements in genetic algorithms[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2001, 37(5): 3414-3417.

[6] MARCHESI M, MOLINARI G, REPETTO M, et al. A parallel simulated annealing algorithm for the design of magnetic structures[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1994, 30(5): 3439-3442.

[7] 王鹏, 常征. 算法隐含并行性的物理模型[J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(4): 588-591.
WANG Peng, CHANG Zheng. Physical model of implicit parallelism in algorithms[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2009, 38(4): 588-591.

[8] 李建峰, 彭舰. 云计算环境下基于改进遗传算法的任务调度算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(1): 184-186.
LI Jian-feng, PENG Jian. Task scheduling algorithm based on improved genetic algorithm in cloud computing environment[J]. Journal o f Computer Applications, 2011, 31(1): 184-186.

[9] 张晖, 吴斌, 余张国. 引入模拟退火机制的新型遗传算法[J]. 电子科技大学学报, 2003, 32(1): 39-42.
ZHANG Hui, WU Bin, YU Zhang-guo. Research of new genetic algorithms involving mechanism of simulated annealing[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2003, 32(1): 39-42.

[10] WICKREMASINGHE B, CALHEIROS R, BUYYA R. CloudAnalyst: a cloudSim-based visual modeller for analysing cloud computing environments and applications [C]//IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. [S.l.]: IEEE, 2010: 446-45.

编 辑 漆 蓉