Journal of Wuhan Polytechnic

云计算环境下的一种并行任务调度负载均衡算法

陈业恩，马俊涛，马　杰，严丽丽

（海南软件职业技术学院，海南 琼海 571400）

摘　要：云计算是在其虚拟化技术之下提供动态可扩展性资源，通过互联网提供服务的一种并行计算技术。本文提出了一种基于云计算环境下的一种并行任务调度负载均衡算法（Parallel Task Scheduling Balancing Algorithm）。实验结果表明，该算法在负载相对均衡的前提下，在响应时间和执行时间方面有较好的表现，能有效地满足用户需求的服务水平。

关键词：云计算；克隆选择算法；并行任务调度；负载均衡

中图分类号：TP391　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1671-931X（2016）01-0066-04

一、引言

近年来，随着信息技术的快速发展和应用，大规模和低成本的计算技术的突破及网络带宽的增长，使得通过网络进行远程访问计算资源这种云计算技术变得更为成熟。云计算作为一种新的商业模式，是分布式计算、网格计算和效用计算的进一步发展，是以虚拟化技术为基础，根据用户需求动态配置资源的新兴计算模式。因此，云计算环境下的动态任务调度是云计算对外提供有效服务的关键。

在本文中，我们在传统任务调度算法的基础上，基于混沌过程特征并结合克隆选择算法和负载平衡的策略，提出云计算环境下的一种任务调度负载均衡算法。该算法通过克隆选择、高斯变异等操作获得任务调度负载均衡方案。该算法可以根据资源负载和计算能力对任务进行合理分配，从而能保证各任务在负载相对均衡的前提下，在响应时间和执行时间方面有较好的表现。

二、云计算环境下任务调度模型

（一）任务调度结构模型

基于虚拟化技术的云计算环境，是将物理节点集群转变为资源节点（也称为虚拟机）集群，然后将资源节点的属性信息交由数据中心代理器。用户通过用户接口，将各自的任务提交到数据中心代理器，并由数据中心代理器负责任务的具体调度过程。云计算任务调度结构模型见图 1。

图 1 中，云计算环境下的任务调度就是将不同任务调度到合适的资源节点上执行，并用总体执行效益（时间、代价、负载平衡等）来评价调度方案的优劣。

收稿日期：2015-08-30

基金项目：海南省自然科学基金资助项目“云计算环境下任务调度算法应用研究”（项目编号：614242）。

作者简介：陈业恩（1980-），男，硕士，海南万宁人，海南软件职业技术学院计算机讲师，研究方向：计算机应用及程序设计、云计算；马俊涛（1982-），男，硕士，海南软件职业技术学院计算机教师，研究方向：计算机应用、智能计算、分布式计算；马杰（1986-），男，硕士，海南软件职业技术学院计算机副教授，研究方向：移动应用开发、智能计算、分布式计算；严丽丽（1970-），女，硕士，海南软件职业技术学院计算机教授，研究方向：智能计算、信息检索、云计算。

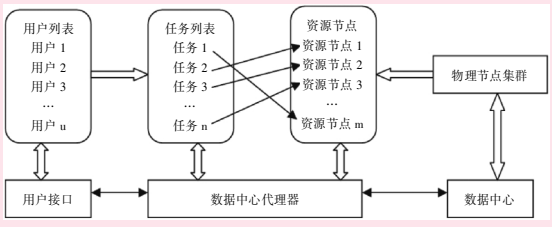

图 1 云计算任务调度结构模型

（二）云计算环境下任务调度的关键技术分析及建模

云计算环境中的任务一般分为相互间有依赖关系（比如，后一个任务的执行依赖前一个任务执行的结果），也有相互间独立的任务（任务彼此间无依赖关系）。资源节点上资源能力的衡量指标，一般包含计算能力、存储能力、传输能力（带宽）等，要保证系统整体执行时间最小，并且云计算系统的负载实现均衡，则资源节点至少应该结合计算能力和负载率两方面的因素进行描述，本文为了简化问题需要，侧重从资源节点的计算能力和负载率来设计任务调度模型，并且假定待调度的任务间是独立的元任务，即各任务是不可再分的原子任务。

为了探索执行效率和负载均衡，约定如下两个关键问题：

1. 资源从计算能力和负载率两方面的因素进行描述。资源的计算能力用 Mips 表示，Mips 描述的是资源每秒钟可以执行百万指令数。资源的负载率采用已经完成的任务量和分配的任务量之比进行表示。

2.任务的描述依据单位时间内平均到达数量和计算量，计算量通过任务的总指令数进行描述。

对于 n 个任务和 m 个资源节点的环境，总体任务调度方案有 m^n 种，当 n 和 m 数量巨大时，获取一个效益好的方案，这是一个典型多目标优化 NP 问题，对于云计算环境下寻求好的调度方案的过程，也是一个典型的混沌优化过程。生物免疫系统的免疫识别过程能在较短的时间内利用数量相对有限的抗体去识别近乎无限多的抗原，从信息处理的角度看，这是在资源受限条件下的一套高效求解机制。克隆选择算法是模拟生物免疫系统的多克隆机理，它具有搜索效率高，避免过早收敛、群体优化、保持个体多样性以及自适应、自学习等优点，比较适合求解目标优化问题。下文从时间跨度和负载均衡两方面出发，提出一个多目标效用函数（亲和度函数），并引入基于免疫算法和混沌优化思想的任务调度负载均衡算法，以实现资源综合效用的提升。

三、任务调度数学模型

（一）任务与资源节点的表示模型

将 n 个相互独立的元任务调度到 m 个资源节点上执行（n>m），其中，任务集用 T 表示，$T=\{t_1,t_2,t_3,\cdots,t_n\}$，资源节点集用 R 表示，$R=\{r_1,r_2,r_3,\cdots,r_m\}$，$t_j(j=1,2,3,\cdots,n)$ 表示第 j 个子任务，$r_i(i=1,2,3,\cdots,m)$ 表示第 i 个资源节点。每个子任务只能在一个资源节点上执行。任务集 T 和资源节点 R 之间的调度关系用 map 矩阵表示。

$$map=\begin{bmatrix} tr_{11} & tr_{12}\cdots tr_{1n} \\ tr_{21} & tr_{22}\cdots tr_{2n} \\ \cdots & \\ tr_{m1} & tr_{m2}\cdots tr_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中，map(i,j)表示任务 j 与资源节点之间的调度（映射）关系，$map(i,j)\in\{0,1\}$，$i=\{1,2,3,\cdots,m\}$，$j=\{1,2,3,\cdots,n\}$，map(i,j)=1 时，表示任务 j 调度到资源节点 i 上执行，map(i,j)=0 时，表示任务 j 未分配给 i 资源节点。

（二）资源负载均衡模型

用 C_i 表示第 i 资源节点的计算能力，W_j 表示任务 j 的预计所需计算量，p_i 表示资源节点 i 的资源负载率，ω_i 表示完成调度到资源节点 i 上的所有任务所需要的预计总计算量。则：

$$p_i=\frac{\omega_i}{C_i}\times 100\% \quad (2)$$

可推导出：

$$p_i=\frac{\omega_i}{C_i}=\frac{\sum W_j}{C_i} \quad (3)$$

$j\in\{$调度到资源节点 i 上的任务编号集$\}$，用 P 表示云计算系统资源负载率，则：

$$p==\frac{\sum_{j-1}^{n} W_j}{\sum_{i-1}^{m} C_j}\times 100\% \quad (4)$$

$C_i=Num_i\times Mips_i$，Num_i 表示资源节点 i 处理器数目，$Mips_i$ 表示资源节点 i 处理器的平均速度。

定义资源负载率的适应度函数：

$$f_p(I)=\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{|p_i-p|}(i\in\{1,2,3,\cdots,m\}) \quad (5)$$

式 5 中，p_i 越接近系统均衡率，则其适应度函数值越大，表示系统资源负载越接近均衡水平。

（三）任务调度时间跨度模型

假定用 Etc(i,j)表示任务 j 在资源节点 i 上的期望执行时间，则，对应任务集与资源节点集的映射调度关系矩阵 map，可构成 Etc 任务执行期望时间矩阵。

$$Etc=\begin{bmatrix} Etc_{11} & Etc_{12} & Etc_{13}\cdots Etc_{1n} \\ Etc_{21} & Etc_{22} & Etc_{23}\cdots Etc_{2n} \\ Etc_{31} & Etc_{32} & Etc_{33}\cdots Etc_{3n} \\ \cdots & & \\ Etc_{m1} & Etc_{m2} & Etc_{m3}\cdots Etc_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$Ms_j(j=1,2,3,\cdots,m)$表示资源节点 j 上处理所有

分配过来的任务的期望完成时间，则，依据矩阵 map 和 Etc，Ms_j 定义如下：

$$Ms_j=\sum_{i=1}^{n} Etc(i,j)\times map(i,j) \quad (7)$$

定义：$Ms_{max}=max\{Ms_j\}, j\in\{1,2,3,\cdots,m\}$，由于云计算环境下各资源节点是并行处理任务，所以任务的总完成时取决于处理最慢(时间最长)的资源节点所使用的时间。因此，我们定义任务处理时间的适应度函数为：

$$f_{Ms}(I)=\frac{1}{Ms_{max}} \quad (8)$$

上式表示任务执行时间越少，适应度值越大。

四、定义 PTSBA 算法模型

(一)PTSBA 算法模型定义

PTSBA 算法模型定义如下：

$PTSBA=(E_n,F,L,M_u,S_e)$

E_n 表示编码方案，F 为抗体亲和度函数，L 为克隆操作，M_u 为变异操作，S_e 为克隆选择。

E_n 即将 map 矩阵进行解码，将 map 中每行各列值为 1 的元素所在的行号依次列入，形成资源-任务直接编码方式，即染色体长度为任务长度，其中每个基因的取值为该任务分配到资源节点的编号。比如，4 个任务 3 个资源节点的调度 map 矩阵如下：

$$map=\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&1\\0&0&1&0\end{bmatrix} \quad (9)$$

即 4 个任务调度到 3 个资源节点的方案，其对应的编码 $E_4=\{1232\}$，表示任务 1 调度至资源节点 1，任务 2 和 4 调度至资源节点 2，任务 3 调度至资源节点 3 上执行。

亲和度：是用来表明抗体与抗原之间的匹配程度，亲和度越高也就越接近所求问题的解。

$$F(antibody)=e^{(\alpha*f_M+\beta*f_P)} \quad (\alpha,\beta\in(0,1),\alpha+\beta=1) \quad (10)$$

依据抗体与抗原的亲和度函数，将解空间中的一个点分裂成多个相同的点，并经克隆、变异等操作后获得新的抗体群（任务与资源调度之间的可能调度方案）。

克隆：对抗体群中的优秀个体应该有更多机会保留到下一代，将抗体群中的每一个抗体 a_i 按规模 N_c 克隆得到新的抗体群 A′，以扩大搜索空间。

$$p==\frac{\xi*F(a_i)}{\sum_{i-1}^{n}F(a_i)} \quad (i=1,2,\cdots,n,\xi\text{ 为放大系数}) \quad (11)$$

克隆选择：对按规模克隆得到新的抗体群 A′ 中的抗体，依据其亲和度大小从高到低进行排序，选择排序靠后的抗体按 x%规模进行淘汰（抗体群中，低亲和度抗体在进化过程的一种死亡现象）。

变异：变异操作可以提高抗群体中抗体的多样性，扩大搜索范围，用来寻找优秀的抗体，采用高斯变异方式 $V'=V+P_m\times\exp(-F(*))\times N(0,1)$。V 和 V′ 分别是父抗体和子抗体，N(0,1)是均值为 0，方差 $\sigma=1$ 的高斯变量，P_m 是变异概率，F(*)是 V 的亲和度。变异即时对某一种任务资源调度方案中的部分资源节点上的任务重新进行分配，以期向所求问题的解增

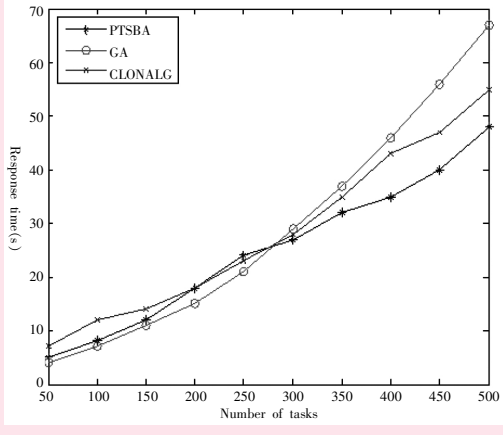

图 2 三种不同算法的任务调度响应时间

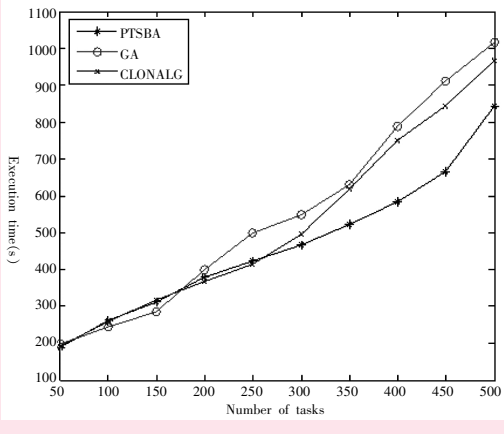

图 3 三种不同算法的任务调度执行时间

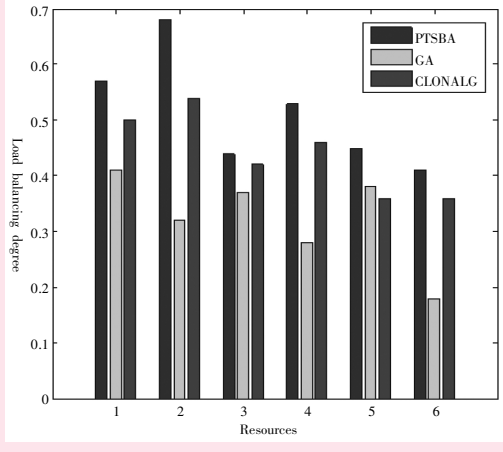

图 4 三个任务调度算法的负载平衡度

加更多优秀调度方案，此处高斯变异的随机变量也反映混沌进化动态搜索过程中的第二阶段表象，即，通过附加小幅度的扰动进一步增进局部区域的搜索，避免陷入局部最优。

（二）PTSBA 算法流程

PTSBA 算法描述如下：

1.输入种群规模 S，随机产生初始抗体群 A（按编码 E_n 方式，产生初始种群抗体染色体串）；变异概率 P_m，淘汰率 x%，进化代数 k=0，最大进化代数 G_m；

2.计算抗体群中每个抗体染色体串的亲和度，$F(a_i)$，i=1，2，…，n；

3.从抗体群中删除亲和度最低的 x%抗体；

4.对剩余抗体群中的抗体执行克隆、变异操作，获得最新抗体群 A′；

5.k=k+1，重复 2-3 步骤，直到满足（$k>G_m$）收敛为止。

6. 输出抗体种群中个体的最小目标函数值，该值对应的抗体（染色体基因序列），即为任务调度与资源节点间较合理的分配调度方案。

五、实验

为了测试 PTSBA 算法的性能设计，我们利用云计算仿真平台 CloudSim3.0 进行仿真试验，将 PTSBA 算法和其他经典的任务调度算法进行比较测试。测试参数：任务 20 个，资源节点 8 个，初始种群规模 50，P_m=0.015，x%=15%，G_m=200。图 2 示出了三个任务调度算法的响应时间。图 3 示出了三个任务调度算法的执行时间。图 4 示出了三个任务调度算法的负载平衡度。

通过上述实验，显示出我们的方法具有较大的潜力，因为它在响应时间和执行时间方面改善显著，能有效地满足用户提交的服务请求。

六、结论

我们将智能优化算法的最新成果引入云计算领域，并将人工免疫算法和混沌优化进行有机的融合，根据云计算环境下任务调度负载均衡模式的特点，对大规模并行处理系统提出了启发式任务调度算法，利用快速局部搜索的免疫算法和混沌优化优势的能力，实现全局和局部搜索最优，为研究云计算环境下的任务调度问题提供新的研究工具和方法。

参考文献：

[1] 李建锋，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.

[2] 孙瑞锋，赵政文.基于云计算的资源调度策略[J].航空计算技术，2010，40(3)：103-105.

[3] 马小妹.多目标遗传算法研究[J].西安电子科技大学，2010.

[4] 肖晓伟，肖迪，林锦国，等.多目标优化问题的研究概述[J].计算机应用研究，2011，28(3)：805-808.

[5] Yacine Kessaci，Nouredine Melab，El-Ghazali Talbi. A multi-start local search heuristic for an energy efficient VMs assignment on top of the OpenNebula cloud manager[J].Future Generation Computer System，2013，29(01)：1-20.

[6] Dang Minh Quan，Federico Mezza，Domenico Sannenli，Raffaele Giafreda. T-Alloc：A practical energy efficient resource allocation algorithm for traditional data centers[J].Future Generation Computer Systems，2012，28(02)：791-800.

[7] Alfonso Quarati，Andrea Clematis，Antonella Galizia，Daniele D'Agostino. Hybrid Clouds brokering：Business opportunities，QoS and energy-saving issues [J].Simulation Modelling Practice and Theory，2013，39(03)：121-134.

[8] Joanna Kolodziej，Samee Ullah Khan，LizheWang et al. Security，energy，and performance-aware resource allocation mechanisms for computational grids[J].Future Generation Computer Systems，2013，29(01)：944-959.

[9] Araujo DRB，Bastos-Filho CJA，Barboza EA，Chaves DAR，Martins-Filho JF.A performance comparison of multi-objective optimization evolutionary algorithms for all-optical networks design [A].In IEEE symposium on computational intelligence in multicriteria decision-making[C].Nice，2011：89-96.

[10]N. B. Rizvandi，J. Taheri，A.Y. Zomaya，Y.C. Lee，Linear combinations of DVFS-enabled processor frequencies to modify the energy-aware scheduling algorithms[A].IEEE International Symposium on，Cluster Computing and the Grid[C].Venice，2010：388-397.

[11]R.Buyya，ABeloglazov，JAbawajy，Energy-efficient management of data center resources for cloud computing：a vision，architectural elements，and open challenges[A].Proceedings of the 2010 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications[C]. Las Vegas，2010.

[12]Yunji Wang，Philip Chen，Yufang Jin，Trajectory planning for an unmanned ground vehicle group using augmented particle swarm optimization in a dynamic environment [A].Proceedings of IEEE International Conference on Systems，Man，and Cybernetics，San Antonio [C]. San Antonio，2009：4341-4346.

[13]Gong，M.G.，Du，H.F.，Jiao，L.C.Optimal approximation of linear systems by artificial immune response[J].Science in China：Series F Information Sciences，2006，49(01)：63-79.

[责任编辑：胡大威]

（下转第 77 页）

（上接第 69 页）

A Parallel Task Scheduling Balancing Algorithm in Cloud Computing Environment

CHEN Ye-en MA Jun-tao MA Jie YAN Li-li
(Hainan College of Software Technology, Qionghai 571400, China)

Abstract: Cloud computing is to provide a parallel dynamic scalability resources with the Internet computing technology under its virtualization technology. This paper presents a parallel task scheduling balancing algorithm based on cloud computing environment. Experimental results show that our method has some potential, because it has better performance in terms of response time and execution time, can effectively meet service level requested by the user.

Key words: cloud computing; clonal selection algorithm; parallel task scheduling; load balancing