

# 基于人工免疫的网格资源任务调度算法<sup>\*</sup>)

李季<sup>1,3</sup> 文俊浩<sup>2</sup> 张伟<sup>3</sup> 李立新<sup>2</sup> 吴中福<sup>1</sup>

(重庆大学计算机学院 重庆400044)<sup>1</sup> (重庆大学软件学院 重庆400044)<sup>2</sup>

(重庆教育学院计算机现代教育系 重庆400067)<sup>3</sup>

**摘要** 目前,网格计算作为一种新的计算范式正在兴起。资源调度是其中的一个重要研究领域。该文以 AIS 的克隆选择算法为基础,给出了基于人工免疫系统的网格资源调度算法。首先,对网格资源任务调度问题给出了形式化描述,随后用结构化的语言对算法进行了说明,最后通过仿真实验对算法的有效性以及算法参数对性能的影响进行了验证。

**关键词** 人工免疫系统,网格计算,资源调度

## An Artificial Immune Algorithm for Resource and Job Scheduling in Grid Environment

LI Ji<sup>1,3</sup> WEN Jun-Hao<sup>2</sup> ZHANG Wei<sup>3</sup> LI Li-Xin<sup>2</sup> WU Zhong-Fu<sup>1</sup>

(College of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044)<sup>1</sup> (College of Software, Chongqing University, Chongqing 400044)<sup>2</sup>

(Department of Computer Modelization Education, Chongqing Education College, Chongqing 400067)<sup>3</sup>

**Abstract** As a new paradigm, Grid Computing (Computational Grid) is springing up, in which, resource scheduling is an important research field. Based on clonal selection algorithm of artificial immune system (AIS), this paper proposes an artificial immune algorithm for resource and job scheduling in grid environment, which is started with formalized description of grid resource and job scheduling problem, then follows with structured illumination of algorithm. As a result, both of the validity of algorithm and the influence of its parameter on algorithm performance are validated via the simulation studies.

**Keywords** Artificial immune system, Grid computing, Resource scheduling

## 1 引言

计算网格作为求解科学、工程以及经济学方面的具有巨大挑战性应用问题的一种新的计算范式而正在逐渐兴起<sup>[1]</sup>。它是满足未来逐渐增加的计算需求的最终框架平台<sup>[1~3]</sup>。为了满足对计算能力逐渐增加的需求,地理上分布的资源需要逻辑地耦合在一起作为一个整体而工作。随着 Internet 和 WWW 持续不断的指数级增长、通信带宽的不断增加、强大计算能力的计算机和低成本组件的广泛应用等,这些有利条件更进一步推动了计算网格成为现实。网格中的计算资源在地理上分布于不同的所有者,每个所有者可以制定自己的资源访问策略、访问费用和各种约束。每个资源所有者有其自己独特的管理和调度资源的方法,网格调度器能够确保它们不与所有者的策略相冲突。在最坏情况下,资源所有者对不同的网格用户收取不同的访问费用,并且随时间的变化而变化。

网格的资源调度问题分为两大类:以性能为目标的调度和以经济为目标的调度。多数的网格系统的调度都是第一类的,它们以最小化整体执行时间来匹配任务与资源的映射。而基于经济学的调度方法将资源成本作为优化的条件准则。例如, Nimrod/G<sup>[4]</sup> 中的资源代理器允许用户指定自己的预算约束条件、截止时间约束条件等,优化调度依赖于资源使用成本和用户需求规格的折中<sup>[5]</sup>。

从传统上看,多数的调度器在资源选择方面完全忽略用户需求,它们一般采用先来先服务策略(FCFS)。但这种调度方法只考虑当前任务,而没有考虑任务栈中的其它任务分配

(即不是全部最优)。由于任务分配和资源调度问题是 NP 难的组合优化问题<sup>[6]</sup>,因此,当前主要采用启发式方法,包括模拟退火、塔布搜索、遗传算法等等。

最近,人工免疫的研究受到越来越多的重视。它在计算机安全、模式识别、数据挖掘、智能优化等方面受到了广泛的应用。在本文中,作者提出了基于人工免疫原理的网格资源调度算法。该算法是受 De Castro 和 Von Zuben 所提出的克隆选择算法的启发<sup>[7]</sup>,作者对它作出了修改和扩展并将其应用在网格资源调度中。

## 2 网格资源调度问题的定义

在网格系统中,网格资源代理(Grid Resource Broker, GRB)负责资源发现、绑定应用和硬件资源、初始化计算、自适应网格资源的变化并将网格作为一个单一的统一资源呈现给用户。因此,GRB 是网格技术的核心,其中的任务调度算法的好坏对整个网格系统性能有着决定性的影响。

为了简化问题空间,我们将许多影响调度性能的因素忽略掉(例如,网络流量、资源当前负载、资源价格等),而只考虑资源的处理速度和任务的长度这两个关键因素。在网格环境下,要确实获取可用计算资源的处理速度以及用户应用任务的处理时间等信息是一项困难的工作。通常,获得可用资源的速度信息还比较容易,但要获取用户任务的计算处理时间就相当复杂。因此,在运行调度任务时,我们需要从用户的应用规格说明或历史数据中动态地、近似地估计任务长度。

在上述假定情况下,将网格计算环境作如下的形式化描

<sup>\*</sup>)基金项目:重庆市应用基础研究项目(7969);重庆大学基础及应用基础研究支持项目。李季 博士生,主要研究方向为网格计算、分布式计算机网络。文俊浩 博士生,主要研究方向为数据挖掘、信息安全。

述:

**定义1** 假定存在一个网格系统  $G$ , 则  $G$  可以由  $G = \langle M, T, E \rangle$  这样的三元组进行描述。其中,  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_p\}$  代表  $p$  个计算资源的集合;  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  表示  $n$  个独立的用户任务(tasks);  $E = \{e_{i,j} | e_{i,j}$  是任务  $t_i$  在资源  $m_j$  上的执行时间,  $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq p\}$ 。

**定义2** 假定  $X$  代表所有可能的调度方案集  $\pi$  中的一种调度策略, 则在该调度策略下, 网格系统完成全部任务  $T$  所需的执行时间  $C$  由下式给定:

$$C_r(X) = \max_{m_j \in M} \sum_{t_i \in T} x_{i,j} e_{i,j} \quad (1)$$

其中,  $x_{i,j}$  为二进制变量: 当且仅当任务  $t_i$  被分配给计算资源  $m_j$  时,  $x_{i,j} = 1$ ; 否则,  $x_{i,j} = 0$ 。

**定义3** 网格系统的资源调度问题, 就是以下式为目标函数的最优化问题:

$$\min_{x \in \pi} C_r(X) \quad (2)$$

为了设计免疫调度算法, 我们作如下规定: 每个计算资源的运行速度用单位时间的周期数表示, 计算任务的大小用周期数表示。任何任务  $t_i$  在资源  $m_j$  上的运行不能中断暂停。下面我们给出算法的说明。

### 3 免疫调度算法

生物免疫系统是一个高度进化的生物系统, 它旨在区分外部有害抗原和自我组织, 从而清除病原并保持有机体的稳定。从计算的角度来看, 生物免疫系统是一个高度并行、分布、自适应和自组织的系统, 具有很强的学习、识别、记忆和特征提取能力。将这些特点应用到调度问题中是非常有用的。

在本文中提出了一种网格免疫调度算法(Grid Immune Scheduling Algorithms, GISA), 来求解网格计算的任务分配问题。算法思想主要遵循两个免疫原理: 克隆选择(Clonal Selection, CS)和亲和力成熟(Affinity Maturation, AM)。CS的思想就是最佳抗体被选择进行克隆, 克隆的数量与抗体的亲和力(与抗原之间的)成正比; AM的思想就是新生成的抗体进行超变异(变异概率很高), 变异率同抗体的亲和力成反比, 随后那些和抗原之间亲和力较高的变异抗体得到保留。

基于这两个原理可以对组合优化问题进行建模。文[6]提出了最基本的CS算法, 本文对其进行了改进, 将其应用到网格计算任务调度中。算法如下:

网格免疫调度算法 GISA(Grid Immune Scheduling Algorithms)

1. 随机生成大小为  $K$  的抗体种群  $P$ ;
2. For 每一代种群 do
  - 2.1 计算每个抗体的亲和力;
  - 2.2 根据亲和力选定  $N$  个最佳抗体, 构成子种群  $P_N$ ; /\*  $N$  为算法的参数
  - 2.3 For each 抗体 in  $P_N$  do
    - 2.3.1 根据每个抗体的亲和力克隆复制抗体, 放入临时种群  $C$  中; /\* 每个抗体的克隆数量和该抗体亲和力成正比。
  - 2.4 For each 抗体 in  $C$  do
    - 2.4.1 对种群  $C$  的每个抗体进行超变异, 形成种群  $C^*$ ; /\* 变异概率与亲和力成反比。
- 2.5 从种群  $C^*$  中选择亲和力得到改进的抗体, 形成免疫记忆细胞种群  $M$ ;
- 2.6 将原种群  $P$  中亲和力最低的  $|M| + D$  个抗体用免疫记忆细胞种群  $M$  和随机产生的  $D$  个抗体进行替换而构成下一代新的种群  $P$ ; /\* 引入随机产生的抗体, 是为了避免陷入局部最优, 其中,  $D$  也是算法的参数。

3. Until 算法满足停止条件;
4. 从种群中选择具有最佳亲和度的抗体作为算法的解;

对网格计算中的任务调度, 可以用固定长度为  $N$  ( $N =$  任务数) 的整型字符串来生成抗体(原问题的解)的染色体, 其中, 每个基因位代表任务所分配的计算资源编号。

算法亲和力(Affinity)计算按下式进行:

$$\text{亲和力 } A(k) = \frac{1}{(1 + C(k) - LB)} \quad (3)$$

其中,  $C(k)$  是抗体  $k$  所代表的可行解的执行时间(在一种调度策略下的执行时间);  $LB$  是问题域下界,  $LB = \text{sum}(\text{计算任务的大小}) / \text{sum}(\text{计算资源的速度})$ 。  $LB$  说明了在理想情况下的最佳执行时间。亲和力分母说明, 当  $C(k)$  越接近  $LB$  (可行解得到改进), 抗体  $k$  的亲和力  $A(k)$  越高,  $A(k)$  越接近 1。

变异算子的选择对算法的收敛速度具有很大的影响。算法可以有多种变异方式, 例如, 单点随机变异、两点随机变异等等。在这里我们选择单点随机变异, 变异概率  $P_m = 1 - A(k)$ 。

为了加快算法的收敛速度, 在生成初始种群时, 我们引入了一个特殊抗体。该抗体是采取将任务按大小(执行时间)进行排序, 最大的任务分配给最快的机器, 其余的以此类推这种方式获得的。其余的抗体随机生成。

抗体的克隆数量由下式确定:

$$NC(k) = \text{Index}(k) \quad (4)$$

其中,  $NC(k)$  是抗体  $k$  的克隆数量;  $\text{Index}(k)$  是抗体  $k$  在种群中按亲和力进行排序(升序)所得的序号。序号越大, 说明了抗体亲和力越大, 抗体克隆的数量就越多, 这符合免疫学原理。这里我们选择克隆数量按亲和力线性增加。

GISA 算法停止条件可以采用遗传算法的停止条件, 我们采用 50 代后停止运行。具有最佳亲和度的抗体即为调度的解。

### 4 模拟实验结果

基于上述网格资源免疫调度算法 GISA, 我们设计了算法的仿真实验。算法编程用 Matlab 语言实现, 实验平台为奔腾 IV 2.4G CPU、256M 内存的微机。首先, 为了说明算法的有效性, 我们将问题域空间(也就是抗原空间)选定为文[8]中的标志性问题, 也就是 15 个任务在 5 个计算资源上的调度问题。抗体种群规模  $K = 50$ ; 选定算法参数  $N = 10, D = 5$ 。实验结果如图 1 所示。

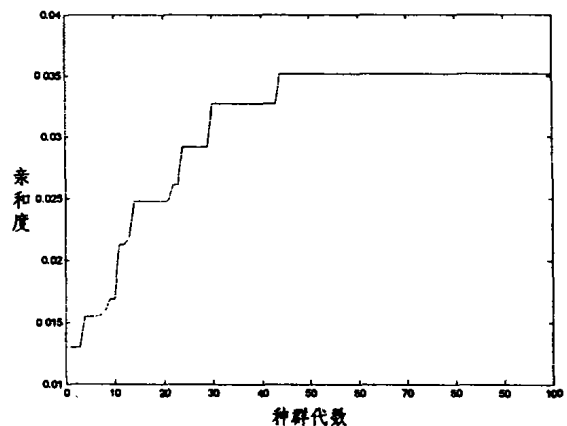


图1 亲和力/代数图

从图1可以看出, 亲和力是随着代数的增加而提高的, 并且最后趋于平缓。实验证明了算法的有效性。

(下转第123页)

数据传输率会下降很多。原因是每当收到一个文件必须写入到底层每个NAS设备中,大量的小文件会造成繁重的文件创建工作,因而降低了性能。

**结论** 全球信息爆炸性的增长使得NAS存储技术得以广泛应用。传统的NAS系统难以满足现代存储高可靠性、高可用性、高性能、动态可扩展性等众多方面的需求。NASMFS镜像文件系统屏蔽了底层中各个NAS设备中文件系统的差别,给用户提供了一个安全、可靠的统一的存储目录空间,透明地完成文件镜像功能,从而在性能、可用性、可靠性等方面弥补了传统NAS系统手工完成文件镜像的不足,满足了应用的要求。

(上接第56页)

算法参数 $N, D$ 对算法性能有很大影响,我们分别对 $N=5, N=10, N=15$ (当 $D=5$ 时)和 $D=5, D=7, D=9$ (当 $N=10$ 时)作出了实验对比,如图2和图3所示。

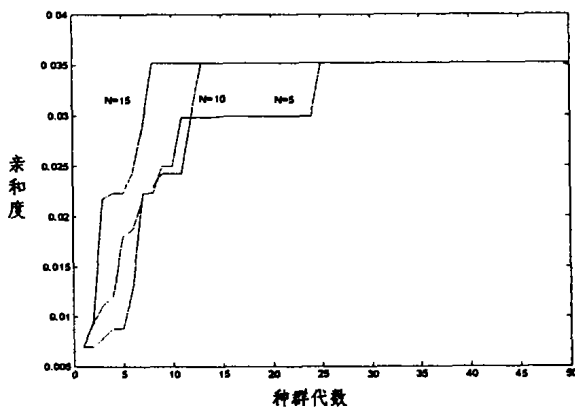


图2 N参数对比图

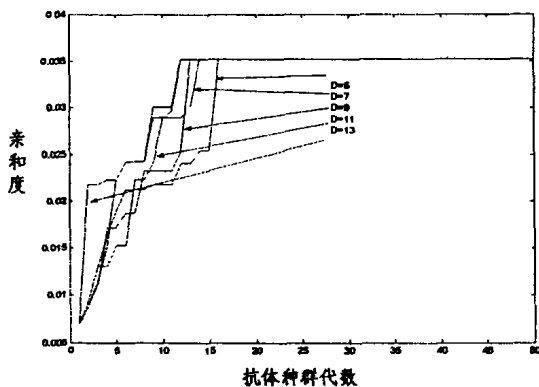


图3 D参数对比图

图2说明,当 $N$ 增加时,算法的收敛速度也在增加。这是因为,如果选取更多的抗体作为生成记忆细胞的种子,那么将增大获得最优解的概率,这符合免疫学原理。虽然下一代抗体的搜索空间得到加大,有助于减小限于局部最优的概率,但在实验中整个算法的运行时间开销也明显增加。因此, $N$ 参数的确定,应根据问题的特定环境。一般来说,如果对时间要求比较紧迫, $N$ 取整个种群大小的10%~15%。

当 $D$ 变大时,引入下一代的随机抗体数量得到增加,这主要是为了增加多样性,它可以有助算法陷入局部最优。但从图3看,参数 $D$ 对算法的收敛速度并没有明显的影响,并且算法的执行时间也没有什么明显的变化。

## 参考文献

- 1 Gibson G A. network attached storage architecture. COMMUNICATIONS OF THE ACM, 2000, 43(11): 37~45
- 2 毛德操, 胡希明. Linux 内核源代码情景分析. 浙江大学出版社, 2001
- 3 Fu Xiangling. Research on Key Technologies of Unified Storage Network: [Ph. D thesis]. Huazhong University of Science and Technology, 2003
- 4 Bovet D P, Cesati M. Understanding the Linux Kernel, 2<sup>nd</sup> Edition. O'Reilly, 2002
- 5 Linux Kernel 2. 4. 7-10

**结论** 作为一种智能优化搜索策略,人工免疫系统(AIS)在函数优化、组合优化、调度问题等方面得到了广泛应用并取得了很好的效果。在大多数的情况下,免疫算法取得了比现有启发式算法更好的求解结果<sup>[9]</sup>。而网格计算是当前网络技术的研究热点,但现在网格技术还没有现成的标准,从网格资源的发现、任务的分配和调度、虚拟组织的管理等等都只是一种目标,但具体的实现却没有一种现成的模式,各个开发小组、研究人员都在争相提出自己的独到见解。基于这种情况下,本文将人工免疫系统应用到网格资源中,给出了基于免疫原理的网格资源调度算法。算法从仿真实验来看,是可行和有效的,并且收敛速度较快(一般来说,比遗传算法较快)。

本文的算法是对理想状况下的网格系统的一种调度,但实际网格的资源调度中,还存在很多因素影响调度性能,例如:网络线路流量、资源的使用价格、虚拟组织的策略等等。理想中的网格应该还具有资源预定功能。因此,我们下一步的研究工作就是将上述因素和资源预定功能结合到算法中,以期得到较理想的调度算法。

## 参考文献

- 1 Foster I, Kesselman C. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Morgan Kaufmann, 1998
- 2 Buyya R, Abramson D, Giddy J. Grid Resource Management, Scheduling, and Computational Economy. In: Intl. Workshop on Global and Cluster Computing, Japan, 2000
- 3 Baker M, Buyya R, Laforenza D. The Grid: International Efforts in Global Computing. In: Intl. Conf. on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Science, and Education on the Internet, Rome, Italy, 2000
- 4 Abramson D, Buyya R, Giddy J. A Computational Economy for Grid Computing and its Implementation in the Nimrod-G Resource Broker. Future Generation Computer Systems Journal, Elsevier Science, 2002, 18(8): 1061~1074
- 5 Buyya R, Abramson D, Giddy J. An Economy Driven Resource Management Architecture for Global Computational Power Grids, In: Intl. Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'2000), Las Vegas, USA, 2000
- 6 Ibarra O H, Kim C E. Heuristic algorithms for scheduling independent tasks on non-identical processors. Journal of the ACM, 1997, 24(2): 280~289
- 7 De Castro L N, Von Zuben F J. Clonal selection algorithm with engineering applications. In: GECCO 2000 Workshop proc. 2000. 36~37
- 8 Morton T E, Pentico D W. Heuristic Scheduling Systems. John Wiley, 1993
- 9 肖人彬, 王磊. 人工免疫系统: 原理、模型、分析及展望. 计算机学报, 2002, 25(12): 1281~1293