

# 改进的文化粒子群算法的电子商务 服务器集群负载均衡

陈宏明, 章 慧

(淮阴工学院计算机工程学院, 江苏 淮安 223003)

**[摘要]** 随着电子商务的发展,电子商务企业服务器集群负载均衡问题越来越严重,为了解决粒子群算法在求解电子商务服务器集群负载均衡问题上存在的不足,提出一种改进的文化粒子群算法的服务器集群负载均衡策略.首先利用粒子群算法的主群体空间和文化算法的知识空间形成“双演化双促进”机制,提高算法全局搜索能力和运行效率;然后引入遗传算法进化机制对知识空间演化操作进行改进,最后将该算法应用于电子商务服务器集群负载均衡问题求解.经过仿真验证,改进文化粒子群算法,提高服务器集群系统资源利用率,负载更加均衡.

**[关键词]** 电子商务,服务器集群,负载均衡,文化算法,粒子群算法

**[中图分类号]** TP39 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2014)03-0079-05

## Load Balance for Large E-Commerce Server Cluster Based on Improved Cultural Particle Swarm Optimization Algorithm

Chen Hongming, Zhang Hui

(College of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China)

**Abstract:** In order to solve problems of particle swarm optimization algorithm in solving the load balancing for large E-commerce server cluster, this paper proposes a large E-commerce load balance method based on improved cultural particle swarm optimization algorithm. Firstly, a main population space of particle swarm algorithm and spatial knowledge of cultural algorithm form the "dual evolution and dual promotion" mechanism to improve global search capability and efficiency; and the evolutionary mechanism of genetic algorithm is introduced to improve the knowledge space and avoid self limiting of culture algorithm, and finally, the algorithm is applied to the solution of load balancing problem for large E-commerce server cluster. The simulation results show that the proposed algorithm has improved resource utilization rate of large E-commerce server cluster system and that the load is more balanced.

**Key words:** E-commerce, server cluster, load balancing, cultural algorithm, particle swarm algorithm

随着电子商务的日益普及,大量的数据需要服务器处理,企业服务器数据访问量、信息交换与网络瓶颈、服务超载之间的矛盾日益严重与加剧,仅凭升级硬件设备难以解决企业服务器群集系统的负载均衡问题.服务器集群负载均衡是指在满足一定约束条件下,对所有负载进行合理分配,使集群系统资源得到充分利用,以它低廉、有效、透明的特点受到企业的青睐和喜爱<sup>[1]</sup>.

服务器集群负载均衡一直备受学者们的关注,众多学者对其进行了大量的研究并取得了很多成果,并在实际应用中取得了一定的成果,如12306网站、淘宝等.电子商务服务器集群负载均衡主要分为静态和动态均衡2种<sup>[2-5]</sup>.由于静态负载均衡算法不能准确反映服务器集群系统节点负载变化规律,应用范围受限<sup>[6-9]</sup>.动态负载均衡算法可以较好地描述节点负载动态变化趋势,成为当前大型服务器集群负载均衡的主要均衡算法.传统均衡算法主要有:最快连接算法、加权最小连接算法.对于小型服务器集群系统,传统算法具有较好的性能,但对于大型电子商务服务器集群系统,效率低,负载易出现不均衡现象<sup>[10-12]</sup>.针对

收稿日期:2014-01-19.

基金项目:淮安市产学研联合研究项目(HC201308).

通讯联系人:陈宏明,副教授,研究方向:计算机网络应用、图形图像处理. E-mail: chm6219@qq.com

大型电子商务服务器集群负载均衡的 NP-Hard 特性,一些学者提出了基于遗传算法、蚁群算法、粒子群算法的大型电子商务服务器集群负载均衡方法. 基于遗传算法的大型电子商务服务器集群负载均衡方法提高了服务器集群的全局搜索能力,但对服务器调度时路径的最优化寻找存在局限性;基于蚁群算法的大型电子商务服务器集群负载均衡方法,提高了最优路径的寻找能力,但容易陷入局部最优,且收敛性慢;基于粒子群算法的大型电子商务服务器集群负载均衡方法在处理电子商务服务器集群负载时克服了蚁群算法收敛性慢的难题,也缓解了遗传算法路径寻找时的低效率性,但对服务器集群负载均衡问题考虑较少,需要对其进行改进. 本文正是基于此,提出了一种改进的文化粒子群算法的服务器集群负载均衡策略,并通过仿真测试验证了改进的文化粒子群算法在大型服务器集群负载均衡问题求解中的有效性和可行性.

## 1 负载均衡问题描述

大型电子商务服务器集群负载均衡是在分析系统节点处理能力的基础上,根据用户的请求较合理地分配到相应节点上进行处理,使集群系统的资源得到充分利用,加快用户请求的完成时间.

设大型服务器集群系统由  $n$  台服务器组成,它们定义为:  $\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ , 在某时间段内,有  $m$  个并发请求,则第  $i$  台服务器的负载指数定义如下:

$$Load(N_i) = R_1 * Lcpu(N_i) + R_2 * Lmemory(N_i) + R_3 * Lio(N_i) + R_4 * Lqtime(N_i). \quad (1)$$

式中,权重值  $\sum R_i = 1$ .

设  $X_i$  为某台服务器处理  $S_i$  个用户请求所用的时间,服务集群系统负载最优均衡方案为求  $\sum X_i$  的最小值,即:

$$T = \min \{ \sum X_i \}, \quad 0 < i \leq n. \quad (2)$$

式中,  $X_i = \sum T_j^i * (w_i + R_4 * (1 - 1 / \sum T_j^i))$ .

## 2 改进的文化粒子群优化算法

文化粒子群(CPSO)算法是将文化算法和粒子群算法结合而成的一种智能算法,在其演化过程中,粒子跟踪 2 个目标,即  $p_g$  (全局极值)和  $p_i$  (个体当前极值),形成全局最优解的轨迹,将这些最优解视为迭代搜索的全局知识信息不断地保存并更新知识空间,并对其进行演化,同时通过 PSO 空间和知识空间的双重演化及互相影响,使算法全局搜索能力更强.

由于文化算法中知识空间的自我演化机制限制,使得知识空间群体在自我演化时效果并不理想,对下层主群体空间的有效影响作用也大为减少. 为避免上述现象,提出一种改进的文化粒子群算法(ICPSO),将遗传算法的种群演化机制引用到知识空间的自我演化,通过选择、交叉和变异操作来对知识空间群体进行自身演化和更新,从而提高知识空间群体自我演化的全局搜索能力和运行效率. ICPSO 算法框架如图 1 所示.

知识空间群体的自身演化和更新通过遗传算法种群演化机制来进行改进,采用选择、交叉和变异操作来进行自我演化.

(1) 选择操作

Step 1: 计算每一个个体的适应度值:  $f(i), i = 1, 2, \dots, n$ .

Step 2: 个体选择概率  $P(C_i)$  的确定. 排序后的个体记为:  $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , 那么个体被选中的概率为:

$$P(C_i) = \frac{1}{n} \left\{ \sigma^g - \frac{\sigma^a - \sigma^b}{n-1} (i-1) \right\}, \quad (3)$$

式中,  $i$  为个体的排序序号;  $\sigma^g$  为最优个体  $C_1$  在选择操作后的期望值,  $\sigma^g = n \times P(C_1)$ ,  $\sigma^b$  为最差个体  $C_n$

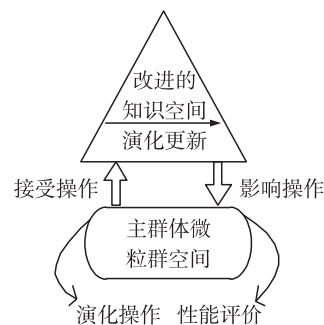


图 1 ICPSO 算法框架

Fig. 1 ICPSO algorithm framework

父代1:	0.53	0.38	0.43	0.24	0.11	0.33	0.012	0.08
父代2:	0.71	0.42	0.09	0.2	0.52	0.018	0.11	0.29
子代1:	0.53	0.38	0.43	0.24	0.11	0.018	0.11	0.29
子代2:	0.71	0.42	0.09	0.2	0.52	0.33	0.012	0.08

图 2 交叉操作

Fig. 2 Crossover operation

在选择操作后的期望值,  $\sigma^b = n \times P(C_n)$ . 一般要求  $1 \leq \sigma^g \leq 2$ ,  $\sigma^b = 2 - \sigma^g$ . 当  $\sigma^g = 2$ 、 $\sigma^b = 0$  时, 最差个体在下一代生存的期望数量为 0, 最优个体的中选概率远远大于其他个体, 使算法容易过早收敛; 当  $\sigma^g = \sigma^b = 1$  时, 选择方式变为均匀分布的随机选择. 通常情况下, 可选择  $\sigma^g = 1$ .

Step 3: 按照式(3)计算个体概率, 用赌轮选择保存较优个体.

(2) 交叉操作 采用单点交叉的方式来进行操作. 对于所选的 2 个个体, 随机选择一个交叉点, 然后相互交换该点之后的优先权值, 如图 2 所示.

(3) 变异操作 变异算子以变异概率  $P_m$  对个体进行操作. 根据变异概率  $P_m$  选中某一个体中的某个优先权值, 然后在区间  $(0, 1)$  中按均匀分布随机取值替代原先的值.

### 3 ICPSO 算法的大型服务器集群负载均衡

Step 1: 初始化主群体空间和知识空间最大迭代次数  $G_1$  和  $G_2$ 、加速常数  $c_1, c_2$ 、惯性权重  $w$ 、种群大小  $N$  等参数.

Step 2: 计算各自群体的粒子适应度值, 并将最优粒子的位置和适应度值保存下来. 适应度值计算公式为:

$$f(i) = \frac{1}{\sum X_i}. \quad (4)$$

Step 3: 对于知识空间的群体空间粒子, 根据式(5)和式(6)更新粒子位置和速度, 并对它们的位置与速度进行限幅处理.

$$\mathbf{v}_{id}^{t+1} = \omega \mathbf{v}_{id}^t + c_1 r_1 (p_{id}^t - \mathbf{v}_{id}^t) + c_2 r_2 (p_{gd}^t - \mathbf{v}_{id}^t), \quad (5)$$

$$\mathbf{x}_{id}^{t+1} = \mathbf{x}_{id}^t + \mathbf{v}_{id}^{t+1}. \quad (6)$$

式中,  $\omega$  为惯性权重;  $c_1, c_2$  为学习因子;  $r_1$  与  $r_2$  为  $(0, 1)$  范围内的随机数;  $\mathbf{x}_i^t$  表示第  $t$  代、第  $i$  个粒子位置;  $\mathbf{v}_i^t$  为速度向量;  $p_i^t$  表示个体最优位置;  $p_g^t$  表示种群全局最优位置.

Step 4: 对每个粒子, 将适应度函数值与个体极值进行比较, 如果大于最优值, 则用适应度值取代个体极值, 且用该粒子位置替代个体极值位置.

Step 5: 将每个粒子适应度值与群体极值进行比较, 如果优于群体极值, 则用该粒子适应度值取代群体极值, 且用该粒子位置替代群体最优位置.

Step 6: 通过接受函数判断是否为真, 若为真, 即超过允许群体空间与知识空间全群最优粒子适应度连续不改善的代数, 则将群体空间的适应度最优的粒子替代知识空间的适应度最差的粒子.

Step 7: 当迭代次数超过最大迭代次数, 则停止搜索, 输出粒子群的最优位置; 否则, 返回 Step 3 继续搜索.

Step 8: 对最优位置进行解码, 得到大型电子商务服务器集群负载均衡的最优方案.

ICPSO 的工作流程如图 3 所示.

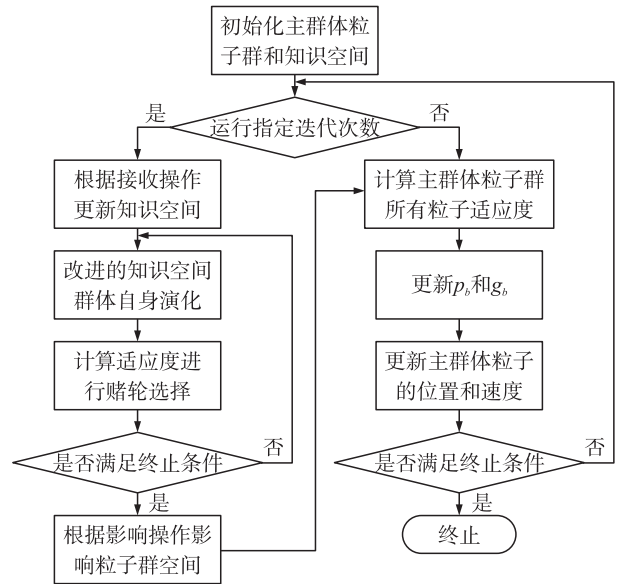


图 3 ICPSO 算法的工作流程

Fig. 3 Flow of the ICPSO algorithm

## 4 仿真实验

### 4.1 仿真环境

电子商务服务器集群系统由 1 台测试端、1 台管理节点和 8 台大型服务器组成, 系统构架如图 4 所示. 整个集群环境搭建在 Windows Server 2003 平台上, 采用 Load Rulmer 作为仿真测试工具, 算法的性能

指标为:服务器 CPU 平均利用率(%)、用户请求的平均应答延迟(ms)以及服务器集群系统平均吞吐量(m).采用遗传算法(GA)和量子粒子群算法(QPSO)作为对比实验.在进行参数设置时,考虑到不同算法的性能参数不一致,以反应算法最优性能为原则,设置不同算法的具体参数如下:GA 参数设置为种群大小为 20,交叉率 0.8,变异率 0.02;ICPSO 参数设置为种群规模 50,惯性因子  $\omega$  为 1.2,  $C_1$ 、 $C_2$  为 2,知识解空间为种群规模 40%;所有算法迭代次数为 200 次.

## 4.2 结果与分析

在最新的粒子群算法的研究工作中,量子粒子群算法(Quantum particle swarm optimization algorithm: QPSO)被认为是一种有效地全局搜索能力的优化方法,为了说明本文算法的优越性,引入比较.本文采用 GA、QPSO、ICPSO 进行仿真实验,以 1 s 的时间间隔采集服务器 CPU 利用率,5 组实验的 CPU 利用率如图 5 所示;服务器集群系统调度的平均响应时间如图 6 所示;服务器集群系统的吞吐量如图 7 所示.

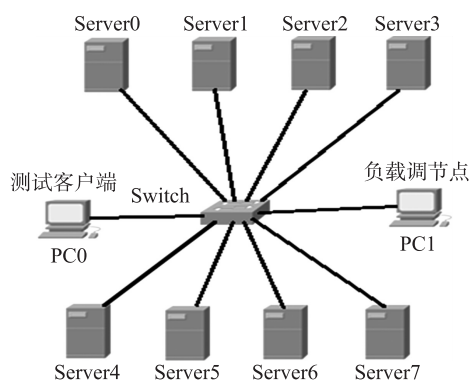


图4 服务器集群系统的构架

Fig.4 The frame of server cluster

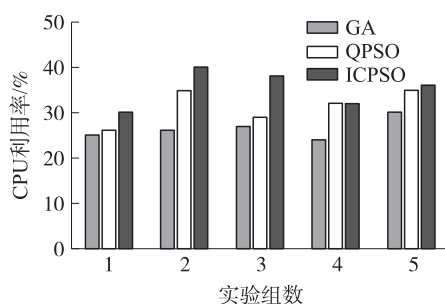


图5 CPU利用率对比

Fig.5 Comparison of the rate of CPU

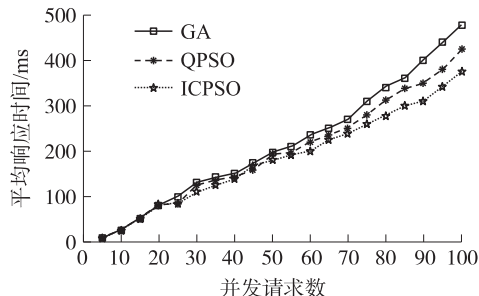


图6 平均响应时间对比

Fig.6 Comparison of average response time

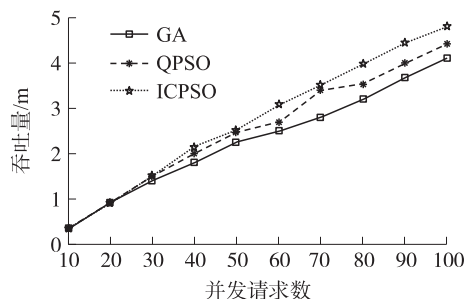


图7 系统吞吐量的对比

Fig.7 Comparison of the system throughput

对图5~7的结果进行分析可知,ICPSO 的综合性能要优于对比算法 GA、QPSO,同时得到如下结论:

(1) GA 算法的 CPU 利用率最低,主要是由于 GA 算法存在局部最优、早熟缺陷;QPSO 算法的 CPU 要高于 GA 算法,主要是由于文化算法和粒子群算法进行互补,可以获得更优的服务器集群负载调方案,而 ICPSO 的 CPU 利用率最高,对比结果表明采用粒子群算法的主群体空间和文化算法的知识空间形成“双演化双促进”机制,提高算法全局搜索能力和运行效率;通过引入 GA 的进化机制避免了文化算法的知识空间自我演化限制,可以获得全局最优的大型服务器集群负载调方案,提高了系统资源的利用率.

(2) 随着用户请求数增加,GA、QPSO、ICPSO 的平均应答延迟时间相应增加,其中 GA 的时间增加幅度最大,而 ICPSO 算法时间增长幅度较小,曲线变化比较平缓,对比结果表明,相对于 GA、QPSO 算法,ICPSO 算法加快了用户请求的平均响应速度,尤其对于大规模的集群系统,ICPSO 优越性更加明显.另外,在运行时间方面,系统测试表明:本文 ICPSO 算法的时间复杂度为  $O(\log n)$ ,而 QPSO 算法的时间复杂度为  $O(n)$ ,GA 算法的时间复杂度为  $O(n^2)$ ,说明在运行时间上本文算法的优越性明显,这主要是本文算法的“双演化双促进”机制起的作用.

(3) ICPSO 算法系统吞吐量明显高于 GA、QPSO 算法,这表明 ICPSO 算法得到的大型服务器集群系统负载方案更加适应于大型服务器集群系统负载均衡处理.

## 5 结束语

针对标准粒子群算法存在的不足,提出一种改进的文化粒子群算法的大型电子商务服务器集群负载均衡算法. 仿真结果表明,改进的文化粒子群算法提高了大型电子商务服务器集群系统资源利用率,负载更加均衡,是一种有效、可靠的集群系统负载均衡算法. 与此同时,如何运用改进的文化粒子群算法相关参数设定对求解结果的影响研究是下一步研究的问题和方向.

### [参考文献] (References)

- [1] 温涛,盛国军,郭权,等. 基于改进粒子群算法的 Web 服务组合[J]. 计算机学报,2013,36(5):1 031-1 046.  
Wen Tao,Sheng Gaojun,Guo Quan,et al. Web service composition based on modified particle swarm optimization[J]. Chinese Journal of Computers,2013,36(5):1 031-1 046. (in Chinese)
- [2] 胡旺,Gary G Y,张鑫. 基于 Pareto 熵的多目标粒子群优化算法[J]. 软件学报,2014,25(5):117-139.  
Hu Wang,Gary G Y,Zhang Xin. Multiobjective particle swarm optimization on pareto entropy[J]. Journal of Software,2014,25(5):117-139. (in Chinese)
- [3] 毛澄映,喻新欣,薛云志. 基于粒子群优化的测试数据生成及其实证分析[J]. 计算机研究与发展,2014,51(4):136-149.  
Mao Chengying,Yu Xinxin,Xue Yunzhi. Algorithm design and empirical analysis for particle swarm optimization-based test data generation[J]. Journal of Computer Research and Development,2014,51(4):136-149. (in Chinese)
- [4] 朱喜华,李颖晖,李宁,等. 基于群体早熟程度和非线性周期振荡策略的改进粒子群算法[J]. 通信学报,2014,35(2):182-189.  
Zhu Xihua,LI Yinghui,LI Ning,et al. Improved PSO algorithm based on swarm prematurely degree and nonlinear periodic oscillating strategy[J]. Journal on Communications,2014,35(2):182-189. (in Chinese)
- [5] 马双良,张英敏,宋丽君. 基于 LVS 和计算任务的实时集群负载均衡方法[J]. 计算机工程与设计,2007,28(20):4 934-4 937.  
Ma Shuangliang,Zhang Yingmin,Song Lijun. Load balancing method for real-time cluster based on LVS and handling tasks [J]. Computer Engineering and Design,2007,28(20):4 934-4 937. (in Chinese)
- [6] 郑宇军,陈胜勇,凌海风,等. 多 Agent 主从粒子群分布式计算框架[J]. 软件学报,2012,23(11):3 000-3 008.  
Zheng Yujun,Chen Shengyong,Ling Haifeng,et al. Multi-agent based distributed computing framework for master-slave particle swarms[J]. Journal of Software,2012,23(11):3 000-3 008. (in Chinese)
- [7] 马超,邓超,熊尧,等. 一种基于混合遗传和粒子群的智能优化算法[J]. 计算机研究与发展,2013,50(11):2 278-2 286.  
Ma Chao,Deng Chao,Xiong Yao,et al. An intelligent optimization algorithm based on hybrid of GA and PSO[J]. Journal of Computer Research and Development,2013,50(11):2 278-2 286. (in Chinese)
- [8] 龚梅,王鹏,吴跃. 一种集群系统的透明动态反馈负载均衡算法[J]. 计算机应用,2007,27(11):2 662-2 665.  
Gong Mei,Wang Peng,Wu Yue. Transparency dynamic feed-back load balancing algorithm based on cluster system[J]. Computer Application,2007,27(11):2 662-2 665. (in Chinese)
- [9] 蒋鹏,宋华华,林广. 基于粒子群优化和 M-H 抽样粒子滤波的传感器网络目标跟踪方法[J]. 通信学报,2013,34(11):8-17.  
Jiang Peng,Song Huahua,Lin Guang. Target tracking algorithm for wireless sensor networks based on particle swarm optimization and metropolis-hasting sampling particle filter[J]. Journal on Communications,2013,34(11):8-17. (in Chinese)
- [10] 刘健,徐磊,张维明. 基于动态反馈的负载均衡算法[J]. 计算机工程与科学,2003,25(5):65-68.  
Liu Jian,Xu Lei,Zhang Weiming. A load balancing algorithm based on dynamic feed-back[J]. Computer Engineering and Science,2003,25(5):65-68. (in Chinese)
- [11] 查日军,张德平,聂长海,等. 组合测试数据生成的交叉熵与粒子群算法及比较[J]. 计算机学报,2010,33(10):1 896-1 908.  
Zha Rijun,Zhang Deping,Nie Changhai,et al. Test data generation algorithms of combinatorial testing and comparison based on cross-entropy and particle swarm optimization method[J]. Chinese Journal of Computers,2010,33(10):1 896-1 908. (in Chinese)
- [12] 王奕首,艾景波. 文化粒子群优化算法[J]. 大连理工大学学报,2007,47(4):540-541.  
Wang Yishou,Ai Jingbo. Cultural-based particle swarm optimization algorithm[J]. Journal of Dalian University of Technology,2007,47(4):540-541. (in Chinese)