

改进人工鱼群算法在 Hadoop 作业调度算法的应用*

吉鹏飞, 齐建东, 朱文飞

(北京林业大学 信息学院, 北京 100083)

摘要: 在分析 Hadoop 缺省及改进的作业调度算法基础上, 引入群智能算法, 设计了基于改进人工鱼群算法的 Hadoop 作业调度算法。采用随机键方式对待分配任务进行编码, 以任务总执行时间作为启发函数, 并引入吞食行为和跳跃行为改进人工鱼群算法, 以达到进一步改善作业调度算法性能的目的。实验结果表明, 改进后的人工鱼群作业调度算法在异构环境下可以提高系统性能, 降低运行时间。

关键词: Hadoop; 人工鱼群算法; 组合优化; 作业调度算法

中图分类号: TP391.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2014)12-3572-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.12.014

Application of improved artificial fish swarm algorithm in Hadoop scheduling algorithm

Ji Peng-fei, Qi Jian-dong, Zhu Wen-fei

(School of Information Science & Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: As the core problem for cloud computing, especially the appropriate distribution of resources in heterogeneous environment, job scheduling algorithm has turned to be one of the current research focuses. This paper introduced swarm intelligence algorithm on the basis of the analysis on the default and improved Hadoop job scheduling algorithm, and proposed a new Hadoop job scheduling algorithm based on the improved artificial fish swarm algorithm. It encoded the allocated tasks by random key approach first, with the total execution time of the tasks as heuristic information, and then improved AFSA by introducing devouring and jumping behavior, last applies improved AFSA to Hadoop job scheduling algorithm in order to achieve further performance. The experimental results show that the improved AFSA in heterogeneous environments can improve system performance and reduce the computing time.

Key words: Hadoop; AFSA; combinatorial optimization; job scheduling algorithm

0 引言

随着 Hadoop^[1] 的逐渐流行和异构集群规模的增大, 资源调度成为影响集群性能的重要因素。Hadoop 自带了三种可插拔资源调度策略, 即 FIFO 算法、计算能力调度算法和公平调度算法。但是这些资源调度策略设计过于简单, 存在资源浪费、作业响应时间过长、没有考虑用户配置及用户满意度等不足, 并且算法容易陷入局部最优、资源利用率低等问题^[2,3]。

Hadoop 作业调度算法的目的是将待执行作业分配到合适的计算节点, 在提高资源利用率的同时缩短任务总的执行时间, 以提高用户的满意度。Hadoop 作业调度问题作为组合优化问题的一个具体应用, 随着集群规模的扩大会造成计算规模的迅速增加, 因此 Hadoop 作业调度问题是 NP 难问题, 然而近年来智能算法在此类问题上的应用越来越广泛。本文采用智能算法中人工鱼群算法^[4] 对 Hadoop 作业调度算法进行改进, 考虑节点的执行能力, 以任务总的执行时间为优化目标, 以此建立数学模型并求解。

1 Hadoop 作业调度算法及改进研究算法的现状

Hadoop 自带调度算法大多是在假设很多条件的基础上解

决任务调度问题。例如, 假设所有节点具有相同的性能、任务执行是以不变的速度进行、自带备份任务执行策略不消耗任何资源等, 所以这些自带调度算法在同构网络环境下表现良好^[5]。但是在异构环境下, 由于带宽、网络拓扑、机器性能的差异, 所基于的假设将不成立, 导致作业调度不可控, 无法充分利用节点的计算能力, 使得任务执行时间最小化。

目前针对作业调度算法研究大多数集中在异构环境, 主要是因为随着集群扩大、新老硬件的更替, 将不可避免地产生内部异构问题, 例如节点 CPU、内存等不尽相同, 或是由于增删硬件导致网络拓扑异构^[6]。为此, 许多学者在作业调度算法方面尤其是针对异构环境进行了许多研究和改进, 如 LATE (longest approximate time to end)^[5,7] 算法是备份任务执行调度策略, 选取备份任务中最快接近完成的任务优先执行。LATE 算法是一种事后处理算法, 有效解决了推测执行的问题。其后不少学者针对 LATE 作了进一步研究, 如基于资源预测 LATE 调度算法等^[8], 针对 LATE 算法没有考虑数据局部性问题进行优化, 解决了跨机架读取数据问题。文献[9,10]利用已完成作业的反馈信息来获取当前集群的工作状态, 及时调整待执行作业分配策略。这种策略相对比较简单, 响应速度快, 但难以达到较优的效果。另外一个改进方向是采用群智能算法对作业

收稿日期: 2014-01-15; 修回日期: 2014-03-07 基金项目: 国家“十二五”科技项目(2011BAH10B04)

作者简介: 吉鹏飞(1987-), 男, 山西临汾人, 硕士研究生, 主要研究方向为数据挖掘; 齐建东(1976-), 男, 内蒙赤峰人, 副教授, 博士, 主要研究方向为计算机网络、智能信息处理(qjiandong@gmail.com); 朱文飞(1989-), 女, 安徽亳州人, 硕士研究生, 主要研究方向为数据挖掘。

调度算法进行改进,也是本文关注的一个重点。文献[11~14]展示了不同智能算法在改进 Hadoop 作业调度器算法上的尝试,其结果证明基于智能算法的改进是可行的,并且有助于改善调度效果,缩短了作业执行时间。文献[12]更是结合两种智能算法的特点,通过 GA 交叉变异来优化 PSO,将比单个 PSO 在提高资源利用率方面的效果更好。

人工鱼群算法作为群智能算法的一种,在组合优化问题上得到了良好的应用^[15]。本文采用人工鱼群算法对 Hadoop 作业调度算法进行改进。

2 基于人工鱼群算法的调度策略

人工鱼群算法是一种运用动物自治体模型的启发式智能搜索算法,采用自下而上的信息寻优模式,是群智能算法的一个具体应用。它具有如下特点:a)具有较快的收敛速度,可用于解决有实时性要求的问题;b)对于一些精度要求不高的场合,可以快速得到一个可行解;c)不需要问题的精确描述或数学模型,这使得其应用范围得以延伸^[15]。这些特点非常适合于 Hadoop 作业调度算法。当前云服务大多以租赁的形式向用户提供服务,快速任务响应无疑可以提高用户体验,这要求调度算法具有实时性。Master 作为 Hadoop 的集群控制枢纽,而作业调度算法作为其职责的重要组成部分而非唯一功能,所以调度算法不宜设计复杂。如果调度算法设计过于复杂,虽然这样可以达到最优解,但是会造成响应时间过长而影响任务整体的执行效率,尤其是随着节点数目的增加,不但加大了 master 的管理负担,而且增加了算法的复杂度,进而造成 master 计算压力的增加,不利于集群的实时调度,而且会影响其他功能。基于上述分析,采用人工鱼群算法对 Hadoop 作业调度算法改进的理论是可行的,并且实践证明人工鱼群已在函数优化、组合优化等方面具有较好的通用性^[16]。

2.1 改进人工鱼算法

目前人工鱼群算法主要应用于求解连续型优化问题,组合优化这类离散问题与其相比,存在如下问题:需要重新定义距离、领域等概念,因为其形式与传统连续性距离空间定义相比有很大不同,而且存在理解困难等缺点;鱼群在某范围内往返游动,可能会出现局部最优现象。另外,由于 Hadoop 集群环境目标区域相对平坦,所以也将加大局部最优出现的概率。针对上述问题并结合作业调度特点,采用随机键的方式对待分配任务进行编码,直接在编码空间模拟人工鱼行为;重新定义领域、距离等概念,并以任务执行时间作为启发函数,通过对人工鱼聚群行为、追尾行为、觅食行为及随机行为进行评价来更新算子和公告板;在基本人工鱼群算法的基础上引入吞食行为和跳跃行为来提高人工鱼群算法的收敛速度和增强全局搜索能力。

1) 相关定义

定义 1 人工鱼个体向量 $X=(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$, 其中 a_i 表示要寻优的变量。

定义 2 人工鱼当前所处位置的食物浓度 $F(X_i)$ (目标函数值)。

定义 3 为配合模拟人工鱼的行为,定义三个控制参数:人工鱼的视野 (visual)、鱼群的拥挤度因子 ($\&$) 及觅食尝试次数 (try_number)。

描述人工鱼的行为首先引入距离、邻域及邻域中心概念。

定义 4 人工鱼 X_1 和 X_2 的距离定义为 X_1 和 X_2 中对应不相等分量的个数,记为 $\text{distance}(X_1, X_2)$ 。

定义 5 人工鱼 X 的 K 邻域定义为 $N(X, k) = \{X' | \text{distance}(X, X') < k, X' \in D\}$, 其中 D 表示变量空间,若 $X' \in N(X, k)$, 则 X' 为 X 的 K 邻域。

定义 6 人工鱼邻域中心定义为 X 邻域内人工鱼对应分量均值取整 $X_c = \frac{1}{nf} \sum_{i=1}^{nf} X_i$, 其中 nf 表示 X 的 K 邻域内人工鱼个数。

2) 人工鱼编码

为了便于描述将 Hadoop 作业调度问题抽象为组合优化问题,问题转换为使用人工鱼群算法对上述组合优化问题求解,首先需要对候选调度方案进行编码,采用随机键的方式编码。假设用户向 Hadoop 集群提交了一个批次的任务,系统将这一批次的任务划分为 n 个待执行小任务,此时有 m 个计算节点向 master 请求执行任务, master 需要解决的是如何将 n 个待分配任务合理分配到 m 个计算资源以使总任务的执行时间最短。人工鱼的直接编码形式为 $X=(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$, 其中 a_i 表示第 i 个任务分配到第 a_i 个计算资源。例如有 7 个待执行的作业, 3 个计算节点, 7 个任务分配到 3 个计算节点, 某条人工鱼编码为 (1, 3, 1, 2, 3, 1, 3), 表示第 1, 3, 5 个任务在第 1 个计算节点上执行。

启发规则是总任务的执行时间 $F(X_i)$, 目标在人工鱼游动过程中使其最小化:

$$F(X_i) = \max\{\sum \text{list}(1), \sum \text{list}(2), \dots, \sum \text{list}(m)\}$$

其中: $\text{list}(i)$ 表示第 i 个计算节点完成所分配任务时间花费, 如上例第 1 个计算节点的执行时间就是第 1, 3, 5 任务依次完成的时间花费, 总任务 $F(X_i)$ 的执行时间取单个计算节点所花费时间中的最大值。

3) 更新算子

(1) 吞食行为 人工鱼的数量越多, 其收敛速度越快, 而且精度也会越高, 但会增加算法的复杂度, 并需要更多的储存空间。根据自然界弱肉强食进化思想, 在人工鱼群算法运行过程中淘汰性能较差的人工鱼, 不仅可以满足算法初期收敛速度的要求, 又可以降低算法后期复杂度及振荡现象。性能较差的人工鱼其离当前最优解最远, 对整个鱼群稳定性的影响多为负面的, 此时将其进行淘汰有利于鱼群收敛。

(2) 跳跃行为 跳跃行为有利于提高鱼群算法的全局搜索能力。之所以引入跳跃行为基于两点: a) Hadoop 集群中节点一般以批次为单位加入集群, 同一批次的节点差异不大, 鱼群容易陷入局部最优; b) 经过若干次迭代后, 人工鱼群状态相对稳定, 可能会进入局部最优。跳跃行为强制随机地改变某些人工鱼的参数, 使其跳出局部区域, 保障鱼群的全局搜索能力。

2.2 改进算法描述

a) 初始化人工鱼群各参数, 包括构建人工鱼群并根据 Hadoop 任务对人工鱼进行随机编码、通过短期预测模型估算任务执行时间等。

b) 对每条人工鱼分别进行觅食、聚群和追尾行为, 缺省时进行觅食行为, 并估计任务在当前条件下任务执行所需的时间。

c) 对人工鱼各行为进行评价, 选择执行时间最短的行为执行, 并更新公告板。迭代 n 次后, 如果某条人工鱼目标函数值与公告板的差值高于预设阈值 value, 则进行吞食行为, 即淘

汰差值最高那条人工鱼。如果连续 m 次迭代,公告板的差值均小于预设阈值 esp ,此时随机选择一些人工鱼执行跳跃行为。

d) 如果多次跳跃行为稳定后公报板差值维持不变或是达到指定迭代次数,则鱼群算法结束,否则转向步骤 b)。

建立上述人工鱼群模型,算法的展开就是一群人工鱼自主行为,没有高层的指挥者,也没有关于命题的先验知识的启发,每条人工鱼就按照自己的规则游动。通过人工鱼群算法,动态相连两次调整任务的最优调度顺序,不断更新公告板,最后命题的满意解即公告板记录的最优值,即分配任务的最终策略。

3 实验结果及分析

1) 实验环境 本文通过虚拟机方式搭建同构及异构环境,实验环境通过构建六台虚拟机组成一个小集群,一台 master,五台 slave。每台虚拟机采用 VMware® Workstation 8.0.1 build-528992 安装 ubuntu11.04, jdk 版本为 1.6.0_24,使用的 Hadoop 版本为 0.20.1。

分别将改进前后的人工鱼群算法在同构环境和异构环境进行测试,测试的标准是通过五次运行 wordcount 测试程序所花费时间的平均值。选择任务数 $N = 10, 30, 50, 100$ 分别进行实验,最后对比公平调度算法、人工鱼群作业调度算法及改进后的人工鱼群作业调度算法的执行时间。人工鱼群算法的相关参数:鱼群数量为 50,鱼群最大迭代次数为 100,觅食时迭代为 50,吞食行为在迭代 6 次后执行,差值 value 设置为当前最优值的 20%,跳跃行为进行 2 次及其以上。

2) 同构环境测试 为了保证测试环境的一致性,首先配置好一台虚拟机,其他虚拟机通过克隆配置好的虚拟机得到,确保每个节点有相同的资源(CPU、内存);然后将其配置到一台超级服务器上搭建局域网,确保任务开始前各节点网络性能相同;最后以此搭建一个同构 Hadoop 测试集群。

3) 异构环境测试 将上述集中在一台超级服务器虚拟机分布到不同物理主机上,并修改虚拟机参数使其内核数量、内存及硬盘容量不尽相同,同时开启不同的进程构造异构环境,以此构建一个网络、硬件及其机器性能不尽相同的异构 Hadoop 测试集群。

同构环境的实验结果如表 1 和图 1 所示。

表 1 同构环境不同调度算法执行结果对比

任务数	公平调度算法/s	人工鱼群作业调度算法/s	改进人工鱼群作业调度算法/s
10	203.86	225.29	241.43
30	269.57	281.28	289.43
50	348.23	372.84	369.65
100	553.11	594.29	604.35

由图 1 可以看出,在任务量较小时,总的运行时间都相对较短;但随任务量的增加,总执行时间也相应增加。同构情况各个计算节点的性能基本相同,基于人工鱼群算法改进的作业调度器,由于人工鱼在执行算子时需要多次迭代,花费时间较长,与公平调度算法相比执行效率略低,但其运行时间也在可接受的范围之内。改进后的算法虽然相比改进前算法本身有所优化,所以相比改进前执行效率有所提高,但是由于优化后的算法本身还是需要一定执行时间,所以相比公平调度算是略低一些。

异构环境实验结果如表 2 和图 2 所示。

表 2 异构环境不同调度算法执行结果对比

任务数	公平调度算法/s	人工鱼群作业调度算法/s	改进人工鱼群作业调度算法/s
10	287.25	291.13	302.71
30	361.24	357.35	351.17
50	423.57	412.59	394.87
100	631.37	606.24	590.14

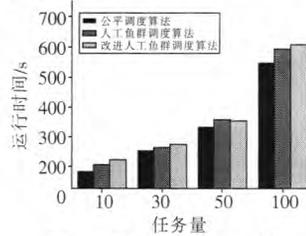


图 1 同构环境不同调度算法执行结果对比

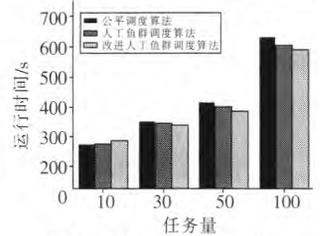


图 2 异构环境不同调度算法执行结果对比

异构环境下,图 2 相对于同构环境图 1 各作业调度算法的执行时间均有所增加,这是由于异构环境网络带宽、节点资源和计算能力不均造成的。公平调度算法通过资源池的方式组织资源,有效地提高了资源利用率,但是并没有考虑网络及硬件等客观条件的差异,不能使资源得到充分利用。基于人工鱼群改进的作业调度算法,考虑了资源分布情况,并以此为依据进行资源分配,有效地避免了资源利用不充分的问题,改进后的算法通过优化人工鱼群算法本身来有效地保证资源的利用率和响应时间。

由此可见:无论在同构还是异构环境下,本算法都可以较好地完成任务,尤其在异构环境下表现良好;人工鱼群算法利用收集的节点和任务信息,通过人工鱼群使两者达到很好的匹配,有效地减少了节点的闲置时间,提高了计算节点的利用率。而改进人工鱼群算法通过优化算法本身结构,使计算结果无限接近于最优解,以此保证对作业的最优调度,进而缩短作业的执行时间。

4 结束语

Hadoop 作业调度算法效率将影响整个集群的性能。本文采用人工鱼群算法和改进算法对作业调度算法进行优化,提高人工鱼群算法的全局收敛性和准确性,通过优化算法本身提高作业调度算法调度的合理性。实验表明,通过人工鱼群算法来改进 Hadoop 作业调度算法的方案是可行的,并且在异构环境下改进人工鱼群算法有利于提高集群整体执行效率,降低任务的执行时间。

参考文献:

- [1] DEAN J, GHEMAWAT S. MapReduce: simplified data processing on large clusters [J]. Communications of the ACM, 2008, 51 (1): 107-113.
- [2] BHANDARKAR M. MapReduce programming with apache Hadoop [C]//Proc of IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 1.
- [3] RASOOLI A, DOWN D G. An adaptive scheduling algorithm for dynamic heterogeneous Hadoop systems [C]//Proc of Conference of the Center for Advanced Studies on Collaborative Research. [S. l.]: IBM Corp, 2011: 30-44.
- [4] 李晓磊, 邵之江, 钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式: 鱼群算法 [J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(11): 32-38.

(下转第 3579 页)

增加了 1.89%,说明列车控制优化方法具有较好的效果。并且由图 6 能耗增长曲线分析可知,列车匀速阶段能耗增长斜率较小,说明增加加速阶段对能耗增加影响较小,但对压缩运行时分效果明显,从侧面反映了该方法的合理性。

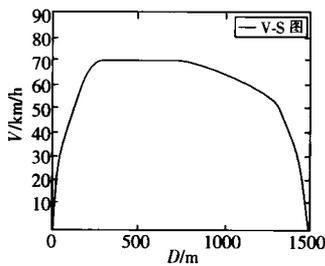


图 8 既有优化方法 V-S 图

5 结束语

列车节能控制为组合优化问题,无最优化理论可用,因此大多根据驾驶经验采用启发式算法进行求解。本文以以往优化策略为基础,在列车优化控制中考虑匀速运行状态,采用仿真与优化相结合的途径,设计了节能仿真算法,采用改进的遗传退火算法进行求解,根据结果对比分析,效果较好。城市轨道交通依据快速、准时等特性广泛被各大城市采用,尤其是其准时性备受乘客关注。因此,在优化过程中考虑匀速运行并采用算法优化,既保证了列车的准时性,又具有良好的节能效果,具有较强的实用价值,可为司机驾驶以及 ATO 系统设计提供理论指导;并且城市轨道交通只有形成网络,才能发挥规模效应,起到城市公共交通骨架的作用。在以后的研究中,笔者将从城市轨道交通网络出发研究列车节能优化控制问题。

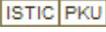
参考文献:

- [1] 陈荣武,诸昌铃,刘莉.基于 CBTC 的城市轨道交通列车能耗算法及仿真[J].计算机应用研究,2011,28(6):2126-2129.
- [2] CHANG C S, SIM S S. Optimising train movements through coast control using genetic algorithms [J]. *Electric Power Applications*, 1997, 144(1):65-73.
- [3] WONG K K, HO T K. Coast control for mass rapid transit railways with searching methods [J]. *Electric Power Applications*, 2004, 151(3):365-376.
- [4] 薛艳冰,马大伟,王烈.列车牵引能耗计算方法[J].中国铁道科学,2007,28(3):84-87.
- [5] 余进.多目标列车运行过程优化及控制策略研究[D].成都:西南交通大学,2005.
- [6] 丁勇,毛保华.定时约束条件下列车节能操纵仿真算法研究[J].系统仿真学报,2004,16(10):2241-2244.
- [7] 刘海东,毛保华,丁勇,等.城市轨道交通列车节能问题及方案研究[J].交通运输系统工程与信息,2007,7(5):68-73.
- [8] 卢启衡,冯晓云.多维并行遗传算法在列车追踪运行节能优化中的应用[J].重庆大学学报,2013,36(4):39-44.
- [9] 王宝宝,王瑞峰.基于遗传算法的追踪列车节能操纵优化研究[J].城市轨道交通研究,2013,16(11):67-70.
- [10] 步兵,丁奕,李辰岭,等.列车控制与行车调度一体化节能方法的研究[J].铁道学报,2013,35(12):64-71.
- [11] 朱金陵,李会超,王青元,等.列车节能控制的优化分析[J].中国铁道科学,2008,29(2):104-108.
- [12] 唐海川,朱金陵,王青元,等.一种可在线调整的列车正点运行节能操纵控制算法[J].中国铁道科学,2013,34(4):89-95.
- [13] YANG Li-xing, LI Ke-ping, GAO Zi-you. Optimizing trains movement on a railway network [J]. *Omega*, 2012, 40(5):619-633.
- [14] 胡晓丹.城市轨道交通节能纵坡与牵引计算研究[D].成都:西南交通大学,2011.
- [15] 王洪斌.城市轨道交通 A 型车辆研究[D].北京:北京交通大学,2007.
- [16] 梁旭,黄明.现代智能优化混合算法及其应用[M].北京:电子工业出版社,2011.
- [17] 周丽,黄素珍.基于模拟退火的混合遗传算法研究[J].计算机应用研究,2005,22(9):72-73,76.
- [18] 符保龙,黄崇争.基于免疫遗传退火算法的 Web 关联规则挖掘方法[J].计算机应用研究,2009,26(2):478-480.
- [19] 葛继科,邱玉辉,吴春明,等.遗传算法研究综述[J].计算机应用研究,2008,25(10):2911-2916.
- [20] 雷英杰. MATLAB 遗传算法工具箱与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2005.
- [21] 邹毅. (N+M)容错系统优化模型求解的遗传算法研究[D].呼和浩特:内蒙古工业大学,2004.
- [22] 马超云,丁勇,杜鹏,等.基于遗传算法的列车节能运行情形控制研究[J].铁路计算机应用,2010,19(6):4-8.
- [10] 李春艳,何一舟,戴彬. Hadoop 平台的多队列作业调度优化方法研究[J].计算机应用研究,2014,31(3):705-707,738.
- [11] GE Yu-jia, WEI Gui-yi. GA-based task scheduler for the cloud computing systems [C]//Proc of International Conference on Web Information Systems and Mining. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2010:181-186.
- [12] SADASIVAM G S, SELVARAJ D. A novel parallel hybrid PSO-GA using MapReduce to schedule jobs in Hadoop data grids [C]//Proc of the 2nd World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing. [S. l.]: IEEE Press, 2010:377-382.
- [13] 华夏渝,郑骏,胡文心.基于云计算环境的蚁群优化计算资源分配算法[J].华东师范大学学报:自然科学版,2010,1(1):127-134.
- [14] 梁静,许波,葛宇.基于改进蛙跳策略的 Map-Reduce 作业调度算法[J].计算机应用研究,2013,30(7):1999-2002.
- [15] 李晓磊,路飞,田国会,等.组合优化问题的人工鱼群算法应用[J].山东大学学报:工学版,2004,34(5):64-67.
- [16] 江铭炎,袁东风.人工鱼群算法及其应用[M].北京:科学出版社,2011.

(上接第 3574 页)

- [5] ZAHARIA M, KONWINSKI A, JOSEPH A D, et al. Improving MapReduce performance in heterogeneous environments [C]//Proc of the 8th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation. Berkeley: USENIX Association, 2008:29-42.
- [6] HAN J, ISHII M, MAKINO H. A Hadoop performance model for multi-rack clusters [C]//Proc of the 5th International Conference on Computer Science and Information Technology. [S. l.]: IEEE Press, 2013:265-274.
- [7] ZAHARIA M, BORTHAKUR D, SARMA J S, et al. Job scheduling for multi-user MapReduce clusters, UCB/EECS-2009-55 [R]. Berkely: University of California, 2009.
- [8] 魏晓辉,付庆午,李洪亮. Hadoop 平台下基于资源预测的 Delay 调度算法[J].吉林大学学报:理学版,2013,51(1):101-105.
- [9] VERMA A, CHERKASOVA L, CAMPBELL R H. Resource provisioning framework for MapReduce jobs with performance goals [C]//Proc of the 12th ACM/IFIP/USENIX International Middleware Conference. Berlin: Springer, 2011:165-186.

改进人工鱼群算法在Hadoop作业调度算法的应用

作者: [吉鹏飞](#), [齐建东](#), [朱文飞](#), [JI Peng-fei](#), [QI Jian-dong](#), [ZHU Wen-fei](#)
作者单位: [北京林业大学信息学院, 北京, 100083](#)
刊名: [计算机应用研究](#) 
英文刊名: [Application Research of Computers](#)
年, 卷(期): 2014, 31(12)

引用本文格式: [吉鹏飞](#). [齐建东](#). [朱文飞](#). [JI Peng-fei](#). [QI Jian-dong](#). [ZHU Wen-fei](#) [改进人工鱼群算法在Hadoop作业调度算法的应用](#)
[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2014(12)