

基于 MAS 的集装箱自动化码头协同作业系统模型^{*}

王祥雪, 朱 瑾

(上海海事大学 航运技术与控制工程交通行业重点实验室, 上海 201306)

摘要: ZPMC 新型集装箱自动化码头使用低架桥轨道和电动小车构成立体装卸系统, 将集装箱的装卸分解为多个起重设备和水平运输设备的协作, 实现了集装箱的自动装卸。针对该码头的运作特点, 采用 MAS (multi-agent system, 多智能体系统) 方法, 将码头中的装卸设备抽象为具有一系列属性和方法的智能体, 提出船舶、堆场、任务管理、设备管理等智能体, 构建出自动化码头协同作业系统模型。在系统的实现层类图中详细阐述了各 agent 的属性方法、交互关系, 结合就近原则及时间估计优化策略, 给出了集装箱装卸最短路径的搜索方案, 通过实例分析说明协同作业系统 MAS 模型能较好地体现该码头分布、动态的运作特征。该研究将对 ZPMC 集装箱自动化码头的调度优化提供一定的理论指导, 同时对完善 MAS 方法在集装箱码头生产作业中的应用体系起到积极的推动作用。

关键词: MAS; 集装箱自动化码头; 协同作业系统

中图分类号: TP303

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2013)04-1072-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.04.030

Multi-agent system based collaborative operation system about ZPMC automatic container terminal

WANG Xiang-xue, ZHU Jin

(Marine Technology & Control Engineering Key Laboratory, Communications of Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This paper reviewed the researches about the application of MAS in the container terminal operation system. The purpose was not only to optimize the scheduling operation of ZPMC automatic container terminal, but also to perfect the theory of MAS in the field. It abstracted the equipment into a series of agents with a set of properties and behaviors. Then the paper proposed ship agent, task manage agent, machine manage agent and yard agent. The agent figure described the properties and methods of agents and their interactive relationship in detail. Combined the nearby principle with the time estimate optimization strategy, it presented the shortest path of the container loading/unloading and finally put forward a multi-agent based collaborative operation system about the terminal. The MAS model better reflected the dynamic and distribution characteristics of the automation terminal.

Key words: MAS; automatic container terminal; collaborative operation system

0 引言

MAS 是指由一组具有一定资源和能力、相对独立且相互作用的 agent 组成的系统, 具有分布式并行处理、可伸缩性、可维护性等特点, 非常适用于研究多变的分布式复杂系统调度优化问题^[1]。目前 MAS 技术在集装箱码头资源配置、动态调度、系统建模与仿真等方面的研究愈来愈受到关注。

Thurston 等人^[2]构建了基于分布式 MAS 的集装箱码头调度系统来提高码头的运作能力, 并通过智能算法动态配置堆场资源。Vicent^[3]在分析传统集中式调度缺点的基础上提出基于 MAS 的集装箱码头调度方案, 给出了单船、装卸、服务、优化和闸口五种 agent 的详细描述。于蒙^[4]提出了基于混合分布式 MAS 结构的码头调度系统模型框架, 设计了各 agent 间的交互关系序列和调度流程, 并对基于多 agent 的通信机制进行了深入分析。邓霆等人^[5]对泊位、岸桥、集卡、场桥等设备资源进行充分考虑, 建立了基于多智能体的集装箱码头生产调度系

统, 并对这些资源进行合理配置和协调利用, 同时给出了智能体内部结构和功能的设计。为解决 ZPMC 集装箱自动化码头的设备调度问题, 徐健等人^[6]提出基于多智能体协作的设备调度方法, 估计各智能体完成任务所需的时间得到 MAS 系统的时间代价矩阵, 通过搜索此矩阵选择最佳路径来指导系统协作。Ma 等人^[7]在 TOC (theory of constraints) 的基础上应用 multi-agent 技术对集装箱码头物流运作系统进行了研究, 在详细介绍各 agent 的同时分析了 agent 间的通信机制。赵辉等人^[8]针对集装箱港口物流运作系统的特点, 建立了以多 agent 技术为核心的集装箱港口生产调度系统, 以促进集装箱码头各子系统之间的相互协调, 提高码头设备利用率和码头年吞吐量, 通过在某码头的试运行得到良好的效果。徐斌^[9]在提出基于 agent 的集装箱码头实时调度框架模型的基础上, 详细地设计了泊位岸桥计划 agent、单船计划 agent、资源配置 agent, 设计了基于移动 agent 技术的岸桥—集卡—场桥协同作业实时调度模型。Xiao 等人^[10]建立基于分布式 MAS 的港口实时动

收稿日期: 2012-07-29; **修回日期:** 2012-09-13 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (60904076); 交通部应用基础研究项目 (2011-329-810-200); 上海市教科委科研创新项目 (10YZ114)

作者简介: 王祥雪 (1989-), 女, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为基于 MAS 的集装箱自动化码头系统优化 (xiangxue.wang@163.com); 朱瑾 (1980-), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为港口自动化。

态调度系统,包含港口计划 agent、泊位控制 agent、集卡分配 agent 和堆场 agent,四种 agent 通过交互协作生成泊位分配方案和集卡需求数量。

目前,基于 MAS 的集装箱码头调度优化研究集中在码头作业的各个阶段,如泊位控制、集卡路径优化、堆场分配等,而作业系统集成化的研究难度较大,成果较少;针对 ZPMC 自动化码头的系统建模研究更是凤毛麟角;MAS 方法能否在 ZPMC 自动化码头调度优化中应用缺乏有效性验证。

基于以上问题,本文试图针对 ZPMC 自动化码头采用 MAS 方法构建其协同作业系统模型。码头使用低架桥轨道和电动小车取代了以往自动化码头的 AGV 系统,原 AGV 的工作被分解为多个起重设备和水平运输设备的协作。相对于传统码头,其作业系统的动态性、分布性显著增加,MAS 方法自下而上的冗余式分层管理模式能有效契合这些特点,对码头运作系统进行较好的描述。本文将装卸设备抽象为具有一系列行为和属性的智能体,同时提出船舶、堆场、任务管理、设备管理等智能体,依据 agent 功能对模型进行分层构建,各子系统通过信息共享实现协商与合作。另外,考虑到低架桥装卸设备位置冲突的因素,本文结合就近原则与时间估计优化策略提出集装箱装卸最短路径的搜索方案,同时将装卸任务按照路径进行分解,子任务及协作 agent 的信息以消息的形式发送到各 agent 的消息队列中。

1 ZPMC 集装箱自动化码头装卸工艺

ZPMC 集装箱自动化码头的平面布局如图 1 所示,与传统自动化码头最大的不同在于该码头运用低架桥轨道和地面轨道的垂直交叉,将集装箱的装卸过程分解为低架桥电动车的水平运输、低架桥起重机的垂直运输和地面电动车的水平运输,借助空中交叉,有效地解决了二维平面上 AGV 的冲突问题。

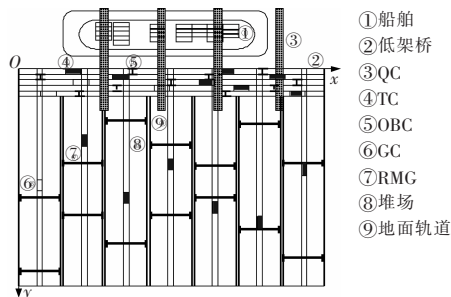


图 1 ZPMC 自动化码头平面布局示意图

主要装卸设备包括:a)岸边集装箱起重机(QC),可同时吊起 2 个 40 英尺集装箱(4 个标准箱),负责船侧与陆侧之间的集装箱装卸工作;b)低架桥电动车(TC),可装载 2 个 40 英尺集装箱在低架桥轨道上双向运行;c)低架桥起重机(OBC),卸船时将集装箱从低架桥电动车上提起,旋转并落至地面轨道的电动车上。装船时动作顺序相反,可在低架桥轨道上双向运行;d)地面电动车(GC),可装载 2 个 40 英尺集装箱在地面轨道上双向运行;e)堆场起重机(RMG),卸船时将集装箱从地面电动车上提起,落至堆区指定位置,装船时动作顺序相反,可在规定堆区轨道上双向运行^[9]。

2 协同作业系统 MAS 模型

2.1 协同作业系统 agent 层次模型

在 ZPMC 集装箱自动化码头装卸系统中,各个设备独立地运行在自身的轨道上,依靠相互的动作衔接完成装卸任务。基

于这个特性,构建出装卸系统的 agent 层次模型。如图 2 所示,系统基于管理 agent 和设备 agent 构建,通过信息 agent 实现通信,协调配合完成装卸任务^[11,12]。

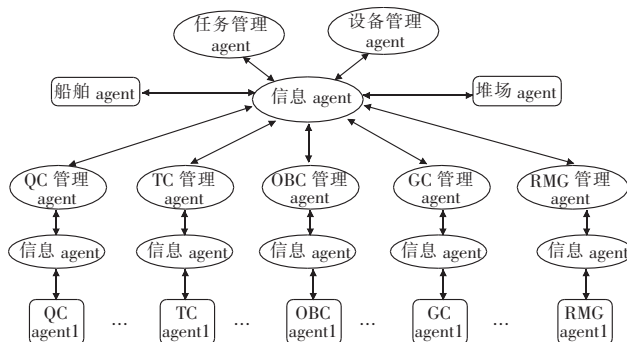


图 2 协同作业系统 MAS 层次模型

2.2 协同作业系统 agent 类别

基于 MAS 的集装箱自动化码头装卸系统主要由管理 agent、设备 agent 和信息 agent 组成。根据系统功能要求,管理 agent 设计为两级结构。第一级为任务管理 agent 和设备管理 agent,负责装卸任务的统一管理、系统资源的全局配置,保证整个装卸计划有序进行,在一定程度上实现了全局利益的最大化;第二级管理 agent 负责各装卸设备子系统的管理和调度,包括装卸任务的领取、设备状态的监测等。设备 agent 是具体任务的执行载体,在二级管理 agent 的管理下完成具体的装卸任务,协同作业系统中按照功能划分有 QC agent、TC agent、OBC agent、GC agent、RMG agent、船舶 agent 及堆场 agent。

由于系统中 agent 数目较多,完全采用直接通信的方式所需的代价较为昂贵,有必要将通信服务器单独作为一个信息 agent,进行信息的共享和传递^[8]。

2.3 协同作业系统 agent 类图

以卸载为例,基于 MAS 的集装箱自动化码头协同作业系统实现层类图如图 3 所示,系统中各 agent 所拥有的方法、交互关系、数据结构等信息都在图中呈现出来^[13]。

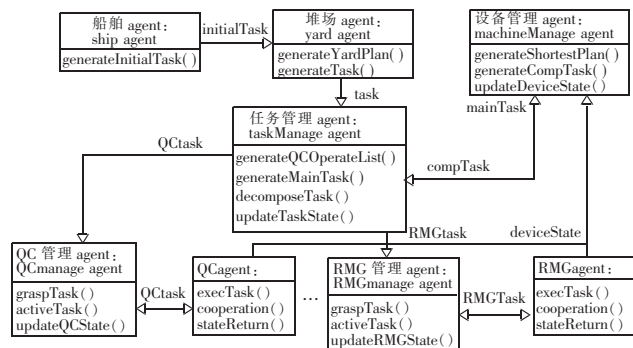


图 3 基于 MAS 的集装箱自动化码头协同作业系统结构框架

1)任务的生成 卸载任务的生成过程如图 4 所示,从图中可知各阶段任务所包含的数据,其中子任务如 QCtask 中包含的 task 需要继续细分,本文后续会进行讨论。

2)任务的领取与执行 由任务管理 agent 对任务进行分解,以 QC 子系统为例,该子系统的任务领取如下所述,其他子系统类似;由 QC 管理 agent 领取所有 QC 的任务,对任务中所涉及 QC 的状态和位置进行查询,当 QC 空闲时,将任务激活,发送至 QC 的消息队列;该 QC 从消息队列中领取已激活的任务,并执行;在任务执行过程中,QC 与本次任务中涉及的 TC

进行交互;QC 与该 TC 进行关联等待,完成任务交接。

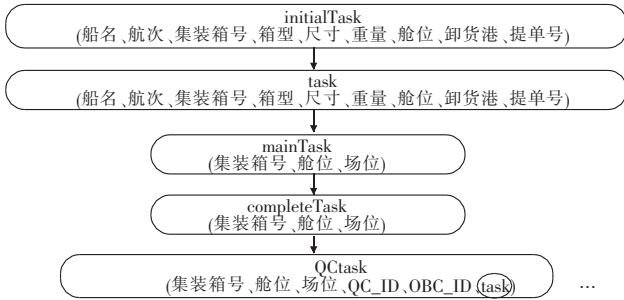


图4 卸载任务生成过程

3 集装箱卸载最短路径搜索方案

对 ZPMC 集装箱自动化码头的仿真实验表明,系统运行效率的瓶颈在于低架桥轨道上 TC 和 OBC 的选择配合方案^[14]。对装卸系统分析可知,当集装箱舱位和分配的堆场位置已知时,即可确定出集装箱卸载路径中的 QC、GC 和 RMG,这也说明在舱位和场位已知的情况下集装箱运行路径确实取决于低架桥上 TC 和 OBC 的选择方案。

3.1 设备位置冲突

每条低架桥轨道上的同种装卸设备存在位置冲突,如图5所示即是冲突类型的一种^[14]。

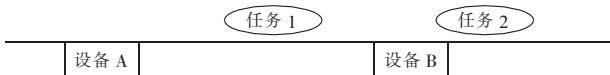


图5 装卸设备位置冲突示意图

图5中 $\text{position}(\text{设备A}) < \text{position}(\text{任务1}) < \text{position}(\text{设备B}) < \text{position}(\text{任务2})$,假定设备A执行任务2,设备B执行任务1,设备A运行至任务1的时间为 T_{a1} ,设备B运行至任务1的时间为 T_b ,若 $T_{a1} < T_b$,在两个设备间存在冲突。这类位置冲突还有好几种情况,此处不赘述。为了避免这类冲突,考虑到降低方案的复杂性,可将每一个低架桥轨道上的 TC 和 OBC 划分为左、右两部分,同时将堆场从中间划分为左、右两部分,规定当集装箱的 yardPosition 属于左侧堆场时,操作它的 OBC 和 TC 只从左侧的部分中搜索,右侧可依此类推。

3.2 最短路径搜索方案

集装箱最短装卸路径的搜索采用就近原则与时间估计策略相配合的方法,每个集装箱的装卸路径在对其进行操作之前生成。搜索方案中涉及的变量说明如下:

yardPosition: 集装箱堆存位置,场位
hatchPosition: 集装箱船舱位置,舱位
QC_Position(x,y): QC 位置
TC_Position(x,y): TC 位置
OBC_Position(x,y): OBC 位置
state: 设备状态信息,分为忙、闲、故障
shortestPath: 最短路径
 i : 低架桥轨道数目, $i=5$
 j : 每条低架桥轨道上 TC 和 OBC 的数量, $j=2$

以卸船过程为例,最短路径的搜索步骤如下:

a) 设备管理 agent 查询所有 TC 的状态和位置,搜索出距离 QC 最近的并且与该集装箱场位同侧的设备 A,同时所有空闲设备中搜索出距离 QC 最近的与该集装箱场位同侧设备 B,进行如式(1)计算,得出 TC_A 的 ID,此处 i, j 为所有设备的范围:

$$\min(|\text{TC}_{ij}\text{-Position}.x - \text{QC_Position}.x_0|) \quad (1)$$

进行如式(2)计算,得出 TC_B 的 ID,此处的 i, j 为空闲设备的范围:

$$\min(|\text{TC}_{ij}\text{-Position}.x - \text{QC_Position}.x_0|) \quad (2)$$

b) 比较 TC_A 和 TC_B 的 ID,如果相同,则将此 TC 纳入该集装箱的 shortestPath,如果不同,说明设备 A 一定处于忙碌状态;设备管理 agent 作以下估算:(a) 估算设备 A 执行完本次任务的时间 T_1 ;(b) 估算设备 A 从执行完任务的地点运行至 QC 位置所需时间 T_2 ;(c) 估算设备 B 运行至 QC 位置所需时间 T_3 。若 $T_1 + T_2 < T_3$,则将设备 A 纳入集装箱的 shortestPath,否则将 B 纳入集装箱的 shortestPath。当 TC 确定时,即确定了低架桥轨道,只要选定该轨道上和该 TC 同侧的 OBC 即可。

3.3 基于最短路径的任务分解方案

在集装箱未进行操作前,其路径信息已经确定,即操作该集装箱的 QC、TC、OBC、GC、RMG 已经确定,由于 TC 和 OBC 在同一低架桥轨道上,GC 的运行轨道确定,故集装箱在低架桥上运行时 x 坐标固定,在地面轨道上运行时 y 坐标固定。

以卸船过程为例,如图6所示,设集装箱舱位 (x_0, y_0) ,场位 (x_c, y_c) ,集装箱从船上转运到堆场需要被5个设备依次操作,舱位和场位的确定使得集装箱的交接位置得以确定,因而确定了各设备运行的目标位置。图中虚线代表集装箱的位置,带箭头的水平实线代表设备的运行过程,带箭头的垂直实线代表集装箱在设备之间的交接过程。根据图6可以将集装箱从船上卸载到堆场的过程进行详细分解。

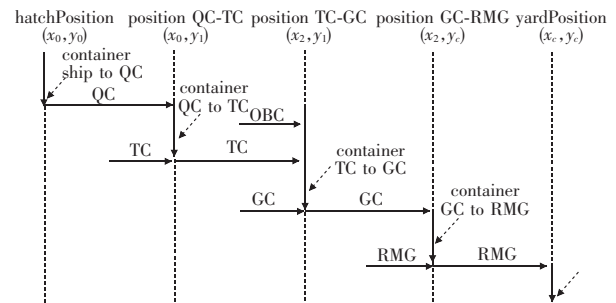


图6 设备运行位置变化示意图

3.4 实例分析

集装箱 0001 #, hatchPosition (10, 20), yardPosition (300, 400), 假定按照上述最短路径搜索方案参照图1 得其卸载路径为 (QC01#, TC0302#, OBC0302#, GC04#, RMG0402#), 集装箱交接位置分别为 position (10, 50), position (275, 50), position (275, 400), 按照图6 所示可将任务分解如下:

- a) QC01#任务
 - (a) 从 hatchPosition (10, 20) 吊起集装箱;
 - (b) QC01#小车运行至 03 轨道即 position (10, 50) 处等待集装箱交接;
 - (c) 将集装箱下放至 TC0302#, 此时 QC01#和 TC0302#关联等待;
 - (d) 返回。
- b) TC0302#任务
 - (a) 运行至 position (10, 50), 等待集装箱交接;
 - (b) 集装箱交接, TC0302#与 QC01#关联等待;
 - (c) 运行至 position (275, 50) 处, 等待集装箱交接;
 - (d) 集装箱交接, TC0302#、OBC0302#及 GC04#关联等待;
 - (e) 返回。
- c) OBC0302#任务:
 - (a) 运行至 position (275, 50), 等待集装箱交接;
 - (b) 集装箱交接, OBC0302#、TC0302#及 GC04#关联等待;
 - (c) 返回。
- d) GC04#任务

- (a) 运行至 position(275,50),等待集装箱交接;
 - (b) 集装箱交接,GC04#、OBC0302#及 TC0302#关联等待;
 - (c) 运行至 position(275,400),等待集装箱交接;
 - (d) 集装箱交接,GC04#与 RMG0402#关联等待;
 - (e) 返回。
- e) RMG0402#任务
- (a) 运行至 position(275,400),等待集装箱交接;
 - (b) 集装箱交接, RMG0402#与 GC04#关联等待;
 - (c) 返回。

上述集装箱装卸最短路径的搜索和任务分解过程将集装箱的操作过程细分到具体的装卸设备,针对各个设备,将其任务以 XML 标准封装成消息发送到各自的消息队列,当设备空闲时,即可查询消息队列,执行相关动作。

4 结束语

本文基于 MAS 的协同作业系统模型对 ZPMC 集装箱自动化码头的运作特征进行了良好的描述;系统的 agent 层次模型和实现层类图,详细地阐述了系统的架构、agent 类别、属性方法及系统的运作过程;文中提出的集装箱装卸最短路径的搜索方案结合了就近原则和时间估计优化策略,最后给出了基于路径的任务分解方案,通过路径与任务的双分解来指导 MAS 系统的协作。基于 JADE 多智能体开发平台的系统实现正在进一步的研究当中。运用该模型对码头进行仿真调度优化具有较好的可行性,同时也验证了 MAS 方法在 ZPMC 集装箱自动化码头调度优化中的应用价值,将为自动化码头的建设运营提供一定的理论指导。

参考文献:

- [1] 孙琳琳,徐杰.基于多代理的调度理论研究[J].科技创新导报,2008(30):34.
- [2] THURSTON T, HU Huo-sheng. Distributed agent architecture for port automation [C]//Proc of the 26th Annual International Computer Software and Applications Conference. 2002;81-87.
- [3] VICENT J B. Multi-agent system technology in a port container terminal automation [J]. ERCIM News, 2004, 56: 37-39.
- [4] 于蒙.基于多 agent 的集装箱码头生产调度系统的研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [5] 邓霆,严南南.多 agent 技术在集装箱码头生产调度的应用研究[J].中国水运,2008,8(7):7-9.
- [6] 徐健,陈启军.基于 MAS 的集装箱自动化码头调度算法[J].系统仿真学报,2009,21(15):4888-4891.
- [7] MA Han-wu, LI Yan. Research on multi-agent container terminal logistics operation scheduling system based on TOC [C]//Proc of the 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering. 2010; 213-216.
- [8] 赵辉,孙俊青. MAS 在集装箱港口决策支持系统中的应用研究[J].计算机工程与应用,2010,46(32):241-243.
- [9] 徐斌.基于 agent 的集装箱码头实时调度系统的研究[D].大连:大连理工大学,2010.
- [10] XIAO Feng-yin, LI P K, CHEN C H. A distributed agent system for port planning and scheduling [J]. Advanced Engineering Information, 2011, 25(3):403-412.
- [11] 张晓勇,吴敏,彭军.基于领域知识的多智能体分层协作规划方法[J].计算机工程与应用,2009,45(3):7-10.
- [12] 琚春华,章朝华.基于语义和多 agent 的电子政务协同工作模型研究[J].计算机应用研究,2008,25(11):3218-3220.
- [13] 潘颖,张文孝.基于多 agent 的离散制造业制造执行系统框架研究[J].计算机应用研究,2009,26(1):244-249.
- [14] 史飞,张新艳,赵启元.新型自动化集装箱码头的仿真分析[J].机械与电子,2008(12):56-60.
- [15] 史飞.自动化集装箱码头仿真分析[D].上海:同济大学,2009.

(上接第 1071 页)

如图 7 所示,在云平台上虚拟机的台数一定的情况下,不同算法选择的总时间随任务数的增加而增加,与 PSO 和 RR 算法比,本文算法所需时间明显比两者要少。

如图 8 所示,在处理用户数一定的情况下,PSO 算法选择的总的完成时间基本不变,但 RR 和 CPSO 算法选择的总的执行时间随虚拟机的增加而减少。跟 PSO 和 RR 算法比,本文算法开销总时间明显低于这两者,并随虚拟机数目的增加与 PSO 算法选择的总开销时间相差越大。

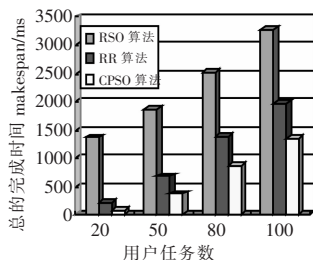


图 7 在一定虚拟机下各算法总的完成时间比较

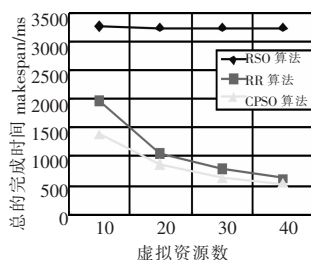


图 8 在一定用户数下各算法总的完成时间比较

4 结束语

本文提出了基于云计算的粒子群优化算法的 Web 服务选择方法。该方法应用了粒子群优化算法快速有效的求解能力,同时在云仿真平台上对粒子群分类映射、相似分群并行化简整合、适时更新分群中最优解的策略,不仅可以降低算法的收敛速度、避免早熟,又能使用户的满意度达到最大。最后通过与其他

选择算法对比分析实验,验证了此方法的有效性和可行性。

需进一步研究的内容包括:进一步优化此算法在云计算的应用,即基于不同的约束条件生成较优的初始方案,以提高服务选择的 QoS 值;另外,本文目前主要针对云环境下的粒子群优化算法的 Web 服务选择的仿真,未来计划研究在云计算的真实平台下对 Web 服务进行快速动态选择。

参考文献:

- [1] 张成文.基于遗传算法的具有全局 QoS 限制的 Web 服务选择 [D].北京:北京邮电大学,2007.
- [2] DANIELSON K. Distinguishing cloud computing from utility computing [EB/OL]. (2008). <http://www.ebizq.net>.
- [3] 李乔,郑啸.云计算研究现状综述[J].计算机科学,2011,38(4):32-37.
- [4] 欧伟杰,曾承,项小明.基于概念松弛的高效 Web 服务查询方法[J].计算机学报,2011,34(12):2381-2390.
- [5] DHRUBA B. The Hadoop distributed file system: architecture and design [EB/OL]. [2007]. http://74.125.155.132/scholar?q=cache:SMFTU-jMXFUQJ:scholar.google.com/&hl=zh-CN&as_sdt=2000.
- [6] Gartner say's cloud computing will be as influential as E-business [EB/OL]. [2008-06-26]. <http://www.gartner.com/newsroom/id/707508>.
- [7] 王西民,宗平.云计算中资源调度策略的研究[D].江苏:南京邮电大学,2010.
- [8] ZHANG Chen, De STERCK H, ABOULNAGA A, et al. Case study of scientific data processing on a cloud using Hadoop [C]//Proc of the 23rd International Symposium on HPCS. Berlin: Springer-Verlag, 2010:400-415.
- [9] 纪震,廖惠连,吴清花.粒子群算法及应用[M].北京:科学出版社,2009.