学 号2015201109

密 级

哈尔滨工程大学本科生毕业论文

作业调度平台中心控制系统的设计与实现

院（系、部）名 称：软件学院

专 业 名 称：软件工程

学 生 姓 名：李佰波

指 导 教 师：马志强 讲师

哈尔滨工程大学

**2019**年6月

**作业调度平台中心控制系统的设计与实现 李佰波 哈尔滨工程大学**

学 号2015201109

密 级

作业调度平台中心控制系统的设计与实现

Design and Implementation of Central Control System for Job Scheduling Platform

**学生姓名：**李佰波

**所在学院：**软件学院

**所在专业：**软件工程

**指导教师：**马志强

**职称：**讲师

**所在单位：**哈尔滨工程大学

**论文提交日期：**2019年6月

**论文答辩日期：**2019年6月

**学位授予单位：**哈尔滨工程大学

# 摘 要

随着数值水池众多虚拟实验的集成以及用户数的激增，单节点服务器在进行虚拟试验数值计算时会产生性能瓶颈，一台服务器的计算能力已经不能满足业务需求，而需要更多的服务器集群来支撑庞大的计算量。开发数值水池作业调度平台系统能优化求解计算任务在服务器组之间的分配，从而提高主系统的处理能力。

本课题旨在设计并实现一套面向作业调度平台的中心控制系统，中心控制系统和计算管理系统以及用户交互系统共同组成了作业调度平台系统。该系统能够完成求解程序的分发，同时提供多种调度策略，能够综合求解器的特点及各节点实际运行状态，合理地进行求解任务的调度。从而降低单机系统负载，用来支撑更多的用户访问操作以及求解计算任务量，面向集群的作业调度技术可以将多台独立的服务器通过网络相互连接组合起来，形成一个有效整体对外提供服务。

本课题研究工作结合集群技术与调度策略算法，为解决系统自身的健壮性，高可用性，高并发以及负载均衡提供了新的技术手段。大量的实验结果证明了本文所提供方法的实用性和有效性。

关键词：作业调度；集群；高可用；高并发；负载均衡

# **ABSTRACT**

At the beginning of the establishment of the China Digital Pool website, it is impossible to have huge user traffic and massive data, but to gradually evolve its own architecture to meet its own business, because the system is often bigger than the business. For a project that is just online, we tend to deploy the web server, file server, and database all on the same physical server. The advantage of the stand-alone structure is that it is simple to use, low in configuration cost, high in data sharing, and good in consistency. When the business develops, the number of computing tasks increases, and the number of users continues to rise, the system bottleneck begins to be exposed. The main problem to be solved is to upgrade the system. Parallel processing power,

This project aims to design and implement a cluster-oriented core job scheduling management system. The system can complete the distribution of the solver and provide various scheduling strategies. It can comprehensively solve the characteristics of the solver and the actual running status of each node. Scheduling of tasks. Thereby reducing the load of the single system, while supporting more user access operations and calculating the solution task, the cluster-oriented job scheduling technology can connect multiple independent servers through the network to form an effective overall external service, using the cluster. The significance is that the purpose of the benefits is higher than the actual cost and cost.

This research work combines cluster technology and scheduling strategy algorithms to provide new technical means for solving the system's own robustness, high availability, high concurrency and load balancing. A large number of experimental results prove the practicability and effectiveness of the methods provided in this paper.

**Keywords:** job scheduling; cluster; high availability; high concurrency; load balancing

目录

[摘 要 I](#_Toc9794889)

[**ABSTRACT** II](#_Toc9794890)

[目录 III](#_Toc9794891)

[第1章 绪论 1](#_Toc9794892)

[1.1 课题背景 1](#_Toc9794893)

[1.2 课题目的和意义 1](#_Toc9794894)

[1.3 国内外研究现状 2](#_Toc9794895)

[1.4 主要研究内容 3](#_Toc9794896)

[1.5 论文结构安排 3](#_Toc9794897)

[第2章 系统总体设计 5](#_Toc9794898)

[2.1技术介绍 5](#_Toc9794899)

[2.2 数据库相关介绍 5](#_Toc9794900)

[2.2.1 数据库相关表介绍 5](#_Toc9794901)

[2.2.2 数据库相关类介绍 7](#_Toc9794902)

[2.3 系统结构设计 10](#_Toc9794903)

[2.4用户登录和超时注销 11](#_Toc9794904)

[2.5 路由机制与视图渲染 12](#_Toc9794905)

[2.6功能模块介绍 17](#_Toc9794906)

[2.7本章小结 18](#_Toc9794907)

[第3章 求解器按需部署及自动同步机制 19](#_Toc9794908)

[3.1 需求分析 19](#_Toc9794909)

[3.2 求解器按需部署 19](#_Toc9794910)

[3.3 求解器自动同步机制 23](#_Toc9794911)

[3.4 求解器状态获取 23](#_Toc9794912)

[3.5 异常处理 24](#_Toc9794913)

[3.6 日志信息 24](#_Toc9794914)

[3.6.1 agent求解器同步日志 25](#_Toc9794915)

[3.6.2 leader发布求解器日志 26](#_Toc9794916)

[3.7 本章小结 27](#_Toc9794917)

[第4章 计算节点管理 28](#_Toc9794918)

[4.1 需求分析 28](#_Toc9794919)

[4.2心跳机制 28](#_Toc9794920)

[4.3 leader发送消息 28](#_Toc9794921)

[4.4 Leader接收消息反馈 30](#_Toc9794922)

[4.5 Leader收集集群各agent的资源状态 30](#_Toc9794923)

[4.6 本章小结 32](#_Toc9794924)

[第5章 集群任务分发与负载均衡调度策略的实现 33](#_Toc9794925)

[5.1需求分析 33](#_Toc9794926)

[5.2总体实现 33](#_Toc9794927)

[5.3 集群任务分发 34](#_Toc9794928)

[5.4 负载均衡调度策略实现 37](#_Toc9794929)

[5.4.1获取未分配Task列表 37](#_Toc9794930)

[5.4.2构建求解器映射表 38](#_Toc9794931)

[5.4.3填充求解器映射表 38](#_Toc9794932)

[5.4.4将Task按顺序进行分配 40](#_Toc9794933)

[5.5 节点任务状态处理 42](#_Toc9794934)

[5.5.1 成功状态处理 42](#_Toc9794935)

[5.5.2 未知错误处理 43](#_Toc9794936)

[5.5.3 错误处理 43](#_Toc9794937)

[5.5.4 任务分配失败处理 43](#_Toc9794938)

[5.6 节点任务消息处理 44](#_Toc9794939)

[5.7 本章小结 46](#_Toc9794940)

[结 论 47](#_Toc9794941)

[参考文献 48](#_Toc9794942)

[致谢 50](#_Toc9794943)

# 第1章 绪论

## 1.1 课题背景

中国数值水池虚拟实验系统时利用先进的水动力学理论模型和精细数值算法，融合了专家的指挥，系统化编制的高效计算软件，经物理实验验证后，结合先进的计算机和互联网条件，为全球的行业用户提供在不同的海洋环境中，进行船舶与海洋结构流体动力响应过程的虚拟实验，满足船舶与海洋工程领域研究，设计及工程应用的要求。随着虚拟试验的不断集成和数值计算量的指数增长，为满足用户进行求解任务的需求，在将系统架构由单机服务器过渡为集群架构的同时迫切需要开发一套作业调度平台系统。该系统能将计算集群节点构成一个组，以单一系统的模式加以管理，用于对集群任务进行管理调度，使得每个计算节点都可以承担一定的负载，并且可以实现处理负载在节点之间的动态分配。中心控制系统，计算任务管理系统以及用户交互系统三个子系统共同组成了该作业调度平台管理系统。

## 1.2 课题目的和意义

数值水池虚拟实验网站创立初期采用的单机节点服务器虽然使用简单，配置成本低，数据共享程度高，一致性好，但是由于随着虚拟试验集成的范围越来越广，用户数量逐渐上升，求解计算任务激增，数据量呈现海量增长，将所有的业务项目如（web服务器，文件服务器，数据库）全部部署服务到一台服务器上，所有的请求业务都由这台服务器处理。显然，当业务增长到一定程度的时候，服务器的硬件会无法满足业务需求。自然而然不可能支撑庞大的用户流量和海量数据，必须演变其自身架构。需要对网站做出如下调整：独立部署，避免不同的系统之间相互争夺共享资源（比如CPU、内存、磁盘等）；Web服务器集群，实现可伸缩性；部署分布式缓存系统，使查询操作尽可能在缓存命中；数据库实施读写分离，实现HA（High Availability）架构。

本课题旨在设计与实现一个面向作业调度平台的中心控制系统，结合计算管理系统以及用户交互系统组成作业调度平台系统。在千万量级的计算任务中，由于存在大量求解任务请求并发访问，需要降低用户请求响应延时，并合理设计调度策略，解决集群服务器组之间的计算任务合理分配，以及对计算任务进行管理。同时完成各类虚拟实验求解器的按需部署及自动同步机制，通过计算管理系统提供的接口给出各个节点求解器计算状态。实现任务的集群分发，处理异常，保证可靠性。以及维护各类信息的日志，用于后续查询及决策。该系统结合计算管理系统向用户交互系统提供特定数据接口，实现B/S架构的界面展示。

在实际应用中，系统管理员可以通过管理页面查询计算集群节点资源状态，并查看每个计算节点的计算任务分配与求解器运行状态，可通过日志系统对求解任务进行回溯，远程一键kill不合理的计算任务，方便数值水池开发人员对虚拟实验集成及网站开发的后续决策。

## 1.3 国内外研究现状

在集群作业调度研究方面，主要分为定时分片类作业调度系统和DAG工作流类作业调度系统。

（1）定时分片类作业调度系统

第一，定时分片类系统的方向，重点定位于任务的分片执行场景，这类系统的代表包括：TBSchedule，SchedulerX，Elastic-job, Saturn。这种功能定位的作业调度系统，其最早的需要来源和出发点往往是做一个分布式的Crontab／Quartz。一开始各个业务方八仙过海，自己玩自己的单机定时任务，然后，随着业务的增长，各种定时任务越来越多，分散管理的代价越来越高。再加上有些业务随着数据量的增长，为了提高运行效率，也需要以分布式的方式在多台机器上并发执行。这时候，分布式分片调度系统也就孕育而生了。这类系统的实际应用场景，往往和日常维护工作或需要定时执行的业务逻辑有一定关联。比如需要定时批量清理一批机器的磁盘空间，需要定时生成一批商品清单，需要定时批量对一批数据建立索引，需要定时对一批用户发送推送通知等等。这类系统的核心目标基本上就是两点：对作业分片逻辑的支持：将一个大的任务拆成多个小任务分配到不同的服务器上执行， 难点在于要做到不漏，不重，保证负载平衡，节点崩溃时自动进行任务迁移等；高可用的精确定时触发要求：因为往往涉及到实际业务流程的及时性和准确性，所以通常需要保证任务触发的强实时和可靠性。

(2) DAG工作流类作业调度系统

这一类系统的方向，重点定位于任务的调度依赖关系的正确处理，分片执行的逻辑通常不是系统关注的核心，或者不是系统核心流程的关键组成部分，如果某些任务真的关注分片逻辑，往往交给后端集群（比如MR任务自带分片能力）或者具体类型的任务执行后端去实现。DAG工作流类调度系统所服务的往往是作业繁多，作业之间的流程依赖比较复杂的场景，比如大数据开发平台的离线数仓报表处理业务，从数据采集，清洗，到各个层级的报表的汇总运算，到最后数据导出到外部业务系统，一个完整的业务流程，可能涉及到成百上千个相互交叉依赖关联的作业。所以DAG工作流类调度系统关注的重点，通常会包括：第一：足够丰富和灵活的依赖触发机制：比如时间触发任务，依赖触发任务，混合触发任务；而依赖触发自身，可能还要考虑，多亲依赖，长短周期依赖（比如小时任务依赖天任务，或者反过来），依赖范围判定（比如所依赖任务最后一次成功就可以触发下游，还是过去一个星期的所有任务都成功才可以触发下游），自身历史任务依赖，串并行触发机制等等。第二：作业的计划，变更和执行流水的管理和同步。

## 1.4 主要研究内容

本课题旨在完成一个面向集群的作业调度中心控制系统的设计与实现，将网站架构从单机节点过渡到集群节点，并保证数值水池虚拟试验计算任务在各集群服务器组中进行合理分配和调度。

作业调度平台中心控制系统是在中央负载均衡服务器上运行的应用程序。中心控制节点提供反向代理服务，根据客户端计算求解任务的请求，将计算任务和求解器程序分配到与其关系的一组或多组后端[服务器](https://baike.baidu.com/item/%E6%9C%8D%E5%8A%A1%E5%99%A8)，实现各种虚拟实验服务器簇的求解分离。中心控制节点会监控和管理计算任务，以实现后端虚拟实验服务器簇与中心控制节点反向代理服务器之间的求解器同步以及资源状态的收集。

实验与应用是作业调度平台中心控制系统有效性的验证。分别使用不同的用户以及虚拟实验计算任务量和服务器集群分别验证计算任务的合理调度和分发以及求解器自动同步机制，通过应用体现其实际价值。

## 1.5 论文结构安排

本篇论文主要分为5章，从面向集群作业调度平台的背景、研究的意义以及研究现状，到作业调度平台中心控制系统的设计与实现，以及多种调度策略算法和求解器同步机制的验证与应用等方面进行论述。

第1章主要论述本课题的背景，研究的意义目的、国内外的对本课题的研究现状以及本课题的主要内容方面做大体的说明。

第2章主要论述系统总体设计，从技术介绍，模块设计，数据库涉及的相关表介绍，系统结构设计，用户登录和超时注销，路由机制与视图渲染介绍等多方面描述。

第3章是重点论述求解器按需部署及自动同步机制，包括需求分析，求解器按需部署，求解器自动同步机制，求解器状态获取，异常处理以及日志信息等方面说明。

第4章重点论述计算节点管理模块，从需求分析，心跳机制，Leader发送消息，Leader接收消息反馈，Leader收集集群各agent资源状态等多方面论述。

第5章是关于集群任务分发与负载均衡调度策略的实现，包括需求分析，总体实现，集群任务分发，负载均衡调度策略实现，节点任务状态和消息状态处理方面。

最后是结论、致谢和参考文献。

# 第2章 系统总体设计

## 2.1 技术介绍

MongoDB数据库以及其分布式部署：mongoDB数据库是一种属于文档型的Nosql类型数据库，数据模为Key-Value对应的键值对，Value为结构化数据。文档可以有一个灵活的模式，这意味着集合中的文档可以有不同(或相同)集的字段。这在处理数据时提供了更大的灵活性，使用户能够存储嵌套或多值字段，如数组、散列等。它使用二进制JSON存储数据，JSON代表JavaScript对象符号。在当今的现代Web(以及XML)中，它是用于数据交换的标准格式，是人类和机器可读的，这不仅是交换数据的好方法，也是存储数据的好方法。JSON支持字符串，数字，布尔值和数组等，JSON可以将所有相关的信息集中在一个地方，这提供了优秀的信息性能，使文档的更新成为独立的。 MongoDB以二进制编码的格式存储JSON文档。这被称为“BSON”。BSON数据模型是JSON数据模型的扩展形式。MongoDB的一个BSON文档的实现是快速的、可实现的，并且是轻量级的。它支持在其他数组中嵌入数组和对象，并允许MongoDB进入对象内部在顶级和嵌套的BSON键上构建索引并匹配对象。

Jetty服务器：jetty的易用性，可扩展性，可嵌入性，使得开发人员可以将Jetty容器实例化成一个对象，可以迅速为一些独立运行（stand-alone）的Java应用提供网络和web连接，可以使jetty很容易的嵌入到应用程序中，而不需要程序为了使用它而修改，相比于tomcat而言，它更加灵活，更加轻量级，更满足分布式环境的需求，这也是为什么在本项目中选择jetty作为服务器而不是tomcat的原因。

系统开发运行的软件环境：Windows平台下的NetBean IDE和 Mongdb数据库，采用标准JAVA语言。硬件环境：Windows、Linux混合计算机集群

## 2.2 模块设计

### 2.2.1 业务分层介绍

中心控制系统和计算任务管理系统以及用户交互系统共同组成了作业调度平台系统。中心控制系统通过计算任务管理系统提供的接口，可以收集每个计算节点的资源状态，进行节点管理与监控，进而为下一步集群任务分发。中心控制系统结合计算管理系统通过向用户交互系统提供特定数据接口，将数据展示渲染在浏览器界面。用户通过浏览器界面，可以进行求解器属性编辑，监控整个计算集群状态以及查看求解任务统计情况。其业务层次图如下。



图 2.1 业务层次模块图

### 2.2.2 功能模块介绍

本系统主要模块有求解器模块，任务模块，节点管理模块，日志模块。求解器模块分为求解器按需部署，求解器自动同步机制，求解器状态获取；任务模块分为集群任务分发，多种调度策略，数据统计子模块；节点管理模块分为维持心跳，发送指令，接收反馈，节点资源状态获取模块；日志模块分为日志维护与异常处理子模块。



图 2.4 系统功能模块图

## 2.3 数据库相关介绍

### 2.3.1 数据库相关表介绍

本系统所涉及的项目主要由四张表，agents, dists, solvers, tasks。以下为每张数据表一条记录所对应的主要字段。agents表是存放计算节点相关属性的表，主要包含计算节点编号，端口，操作系统，求解任务计算结果存放路径，节点已安装求解器列表，负载以及节点状态标识。

表2.1 agents表主要字段含义

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 字段 | 类型 | 含义 |
| \_id | hash string | 计算节点编号 |
| name | string | 名称 |
| port | integer | 端口 |
| os | string | 操作系统 |
| path | string | 计算结果存放路径 |
| maxLoads | integer | 最大负载 |
| createtime | timestap | 创建时间 |
| status | integer | 节点状态 |
| loads | integer | 节点当前负载 |
| updateTime | timestap | 更新时间 |
| solvers | array | 节点安装求解器列表 |
| suspend | bool | 节点是否挂起 |

dists表是用来连接solver和agent的映射关系，为节点求解器分发表，每一条dists表记录了一个agent节点和一个solver求解器的对应关系，在运用负载均衡调度策咯算法进行集群任务分发时，首先会根据dists数据表中solver和agent的对应关系找到每个solver的分配情况，用于构填充解器映射表solverMap，方便后续未分配任务的调度决策。

表2.2 dists表主要字段含义

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 字段 | 类型 | 含义 |
| \_id | hash string | 任务编号 |
| agent | hash string | 计算节点编号 |
| solver | hash string | 求解器 编号 |
| version | integer | 求解器版本 |
| status | integer | 任务状态 |
| createtime | timestap | 任务创建时间 |

solvers表是用来存放求解器的相关属性。有关求解器的文件属性，包括求解器名称，所包含的相关文件，创建时间与更新时间；有关求解器的部署属性包括排队方式，发布模式，运行的操作系统以及指定版本文件；有关求解器的运行属性包括求解器的执行参数以及加载器。该表在求解器按需部署和自动同步机制中起着重要的作用。

表2.3 solvers表主要字段含义

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 字段 | 类型 | 含义 |
| \_id | hash string | 求解器编号 |
| name | string | 求解器名称 |
| label | string | 求解器描述 |
| user | hash string | 用户编号 |
| createTime | timestap | 创建时间 |
| executor | string | 执行文件 |
| updateTime" | timestap | 更新时间 |
| relativeFiles | array | 求解器相关文件 |
| mode | integer | 发布模式 |
| os | string | 求解器运行的操作系统 |
| queue | integer | 排队方式 |
| loader | string | 加载器 |
| params | string | 求解器执行参数 |
| file | string | 求解器指定版本文件 |
| version | integer | 求解器版本 |

tasks表用对求解计算任务进行记录。新建和删除求解任务对应于该表中记录的增删；启动求解任务和关闭求解任务对应于该表中每条任务status状态的改变，用户交互系统可通过特定接口统计所有类型的计算任务并向用户展示。该表还包含了message字段用于存储任务求解时的日志和反馈信息，方便用户对任务运行异常进行分析。

表2.4 tasks表主要字段含义

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 字段 | 类型 | 含义 |
| \_id | hash string | 任务编号 |
| solver | hash string | 求解器编号 |
| solverName | string | 求解器名称 |
| workingDirectory | string | 存放路径 |
| status | integer | 任务状态 |
| params | string | 求解器参数 |
| createTime | timestap | 任务创建时间 |
| startTime | timestap | 任务启动时间 |
| message | string | 日志信息 |
| updateTime | timestap | 任务更新时间 |
| finishTime | timestap | 任务结束时间 |

在DB类中，相关四张数据表会被映射为持久化对象，在后续对数据表CRUD操作可以转化为对该持久化对象成员变量的修改。

表2.5 相关表被映射为持久化对象

|  |
| --- |
| static public ConfigurableCache solver;  static public ConfigurableCache agent;  static public ConfigurableCache dist; // 连接 solver 和 agent  static public ConfigurableCache task;  task = Cache.getCache("task");  solver = Cache.getCache("solver");  agent = Cache.getCache("agent");  dist = Cache.getCache("dist"); |

### 2.3.2 数据库相关类介绍

因为MongoDB是一个基于磁盘文件存储的数据库，其核心组件是存储引擎，用于管理数据在磁盘和内存中的存放，在面对数据库表数据量操作千万级以上时，对于数据库的一些操作效率会比较低下，为了让服务器更迅速地响应用户的请求，实现一份良好的数据库脚本，能更好地提升代码的复用性以及项目的开发效率。数据库脚本总共有3个package，包括与数据库通用操作类的，实用类以及工具类的封装，其功能如下：

表2.6 数据库脚本package名列表

|  |  |
| --- | --- |
| package名 | 含义 |
| net.mongo.shell | 主要是一些数据库操作通用类 |
| net.mongo.shell.tools | 主要是一些数据库交互的常用工具类 |
| net.mongo.shell.util | 主要是一些数据库操作实用类 |

数据库通用类包括对数据库连接以及基本操作的封装，其中四种Cache类将Java应用程序中的相应对象持久化到MongoDB数据库中的表。

表2.7 数据库通用类说明

|  |  |
| --- | --- |
| 类/接口 | 说明 |
| BaseCache | 最基本的Cache |
| Cache | 封装了ConfigurableCache的基本操作 |
| ConfigurableCache | 可配置的Cache |
| DocumentChangeListener | 文档变化的监听器接口 |
| MongoConnection | 封装了MongoDB数据库的连接 |
| MongoDef | 定义了一些常量 |
| CUserCache | 主要针对用户的一些操作，如登录，注册，以及管理员对用户的增删该查操作 |

ConfigurableCache和CUserCache继承自BaseCache。Cache类主要实现了ConfigurableCache类的基本操作， Cache最主要的机制是用HashMap数据结构来存放可配置的cache。

表2.8 Cache类主要字段函数功能表说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 字段/函数 | 名称 | 含义 |
| 用户权限字段 | HAS\_LOGINED | 已经登录 |
| NOT\_LOGINED | 没有登录 |
| NO\_AUTHORITY | 没有权限 |
| 操作码字段 | TAG\_TAG (TAG) | 标识码 |
| OPERATION\_TAG (OP) | 操作码 |
| TARGET\_TABLE\_TAG (TT) | 目标表 |
| RETURN\_CODE\_TAG (RC) | 返回码 |
| RETURN\_REASON\_TAG （WHY） | 原因标识 |
| 函数 | returnOKCode | 返回OK状态码 |
| getCache | 获取cache |
| addCache | 添加cache |
| clearCache | 清除cache |
| doc2json | 将document格式数据转化为json格式 |
| json2doc | 将json格式数据转化为document格式 |
| valueofDocumentField | 获得指定路径下的字段值 |
| equalsDocumentField | 判断指定路径下的值是否相等 |
| initDatabase | 初始化数据库 |
| initPlatform | 根据配置文件初始化平台 |

BaseCache类主要用于更深层次的封装对数据库的增删改查操作。如获取数据库记录序列号；分页和非分页获取数据；以多种方式插入单条数据或多条数据；向集合或数组中插入或删除多条数据；支持纵向深度获取指定路径json结构数据；将json对象扁平化等多种操作；其主要字段表如下：

表2.9 BaseCache类主要字段函数功能表说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 字段/函数 | 名称 | 含义 |
| 字符串字段 | cacheName | cache名称 |
| cacheLabel | cache标签 |
| collectionName | 集合名称 |
| itemName | 单个元素数据 |
| listName | 元素集合数据 |
| \_CREATE\_TIME | 创建时间戳 |
| \_UPDATE\_TIME | 更新时间戳 |
| \_DELETE\_TIME | 删除时间戳 |
| \_FINISH\_TIME | 完成时间戳 |
| 数据库主键类型字段 | COLLECTION\_TYPE\_MONGO\_OID | 自增长主键(int) |
| COLLECTION\_TYPE\_AUTO\_LONG | 自增长主键(long) |
| COLLECTION\_TYPE\_STRING | 指定主键(String) |
| COLLECTION\_TYPE\_AUTO\_INT | Mongo标准主键 |

数据库主要实用类包括对Document结构数据操作的封装，使用Docat类可以快速获取，创建，以及条件创建Document对象；使用Runtimes类可以方便在程序中捕获异常；M类封装了相关的控制台打印方法，可以在容易出现异常情况的代码中添加打印信息，方便代码调试；MD5类实现了够实现对数据库中的敏感数据加密存储，对数据库存储的内容实施有效保护，提升了系统的信息安全程度。

表2.10 数据库主要实用类说明

|  |  |
| --- | --- |
| 类 | 说明 |
| CustomJsonWriter | 某种外部格式的bson编辑器 |
| Docat | 封装了操作Document的一些方法 |
| Files | 封装了操作文件的一些方法 |
| Https | 封装了Java获取文件类型Mime Type的方法 |
| IOs | IO流工具类 |
| M | 该类封装了一些基本的调试操作，如打印，或者线程休眠 |
| NetEventDriver | 事件池，实现发送/监听协议 |
| Numbers | 封装了处理数值类型转换的方法 |
| Runtimes | 封装了运行时异常处理的一些方法 |
| Strings | 封装字符串类的一些基本操作 |
| Text2Zip | 封装了字符串的压缩与解压的方法 |
| Times | 数据库常用日期格式转换 |
| Types | 类型转换 |
| MD5 | 实现数据加密 |

## 2.4 系统结构设计

本系统采用Jetty作为内置服务器，基于RESTFUL软件设计架构。众所周知，URL是web应用服务的路径，用户通过浏览器发送过来的任何请求都会被发送到一个指定的URL地址里，然后被响应。首先创建WebServer类，这个类的功能是使用jetty作为嵌入式服务器，把jetty部署到web应用中。因为Jetty可以在java应用中像其他POJO一样被实例化，换句话说，以嵌入式的模式运行Jetty是将http模块放入应用程序中，而非部署程序到HTTP服务器。首先创建一个Server实例，在私有方法configureServer()里添加/配置Connectors，添加/配置Handlers / Contexts 以及 Servlets。然后在构造函数中传入serverPort，以serverPort为端口启动和监听Jetty，这样就首先完成了Jetty的嵌入式实现。

Jetty服务器成功后读取etc/settings.json配置文件，该配置文件以json的格式配置了MongoDB数据库地址，数据库名称，虚拟实验数据存放的根路径，上传文件临时存放路径，求解器存放根路径，身份标识.

HTTP类有同样的静态字段，并且附带有初始化的默认值。

系统的初始化步骤如下：

* 读取配置文件：读取etc/settings.json文件，若配置文件为空，则退出并结束。
* 设置HTTP类的各字段值。
* 根据配置文件中的键值对(key:value)设置相应的HTTP类中各字段值，如果某个字段值为空，则设置为相应的HTTP类字段缺省值。
* HTTP.ROLE字段验证HTTP.ROLE字段的缺省值为"Leader/Agent", 如果包含leader和agent中任何一项，则进行下一步。
* 查找用户信息数据表，验证用户信息，如果用户信息为管理员权限验证通过，则进行下一步。
* 连接项目数据库，初始化相关数据表，如果连接成功，则进行下一步。
* 启动Leader服务。
* 启动jetty server。

## 2.5 用户登录和超时注销

当用户通过浏览器登录系统时，系统会给每个用户分配一个Session, 如果用户用同一个session访问系统的话，系统会将其识别出来，不应该在切换网页之后，系统就不识别该用户了。

要实现这个功能，可以在后台逻辑中专门新建一个USER类，用来处理超时用户注销。该类继承自java.lang.Thread。将所有用户的session放在map数据结构中，将一个用户和其相对应的session绑定起来，通过维护该SESSION\_MAP可以实现对该用户的管理。该类中声明两个变量，LOOP\_TIME\_OUT和IDLE\_TIME\_OUT，LOOP\_TIME\_OUT所设定的时间间隔为60000毫秒，即1分钟，该时间间隔表示线程需要每隔相同的时间间隔（LOOP\_TIME\_OUT）检查一次SESSION\_MAP；IDLE\_TIME\_OUT所设定的时间为60000 \* 60毫秒即一小时，如果用户无操作时间大于IDLE\_TIME\_OUT，则从SESSION\_MAP中将其sessionId和用户对应关系移除，即注销了超时用户。

用户登录之后，在通过SESSION\_MAP.put(sessionId, user)在SESSION\_MAP中添加用户和SessionID的对应关系

在映射sessionId和用户的关系时，在User表中可以加入” lastAccessTime”用来记录该用户最后一次接入时间，用户无操作时间即为当前时间currentTime减去lastAccessTime，如果该时间间隔大于IDLE\_TIME\_OUT, 则将其session从SESSION\_MAP中移除从而注销该超时用户。

## 2.6 路由机制与视图渲染

本系统的路由机制就是使处理数据的函数与请求的URL建立映射关系。使请求到来之后，根据cn.edu.hrbeu.theweb.server/目录下的RootResource，StaticResource，SolverFileResource，FileResource，LeaderFeedbackResource，LeaderServiceResource类里的正则表达式及注解条目，去查找与请求相对应的处理方法，从而返回给客户端http页面数据。

相应的操作方法都加有@path,@post,@get,@produce注解。

@Path注释的值是表示在Java类将被承载的相对URI的路径：例如，/ HelloWorld的,还可以在URI中嵌入变量以生成URI路径模板。例如，可以询问用户的名称，并将其作为URI中的变量传递给应用程序： / helloworld / {username}；@path注解可以加入正则表达式用来匹配请求路径映射。例如：@Path("solver/{id: [a-zA-Z\_0-9]\*}/file/download/{fileLink: .\*}")是用来匹配求解器文件下载请求映射的函数， @Path("/css/{subResources:.\*}")是用来匹配静态资源目录下css子目录下的层叠样式表请求映射的函数。

@POST注解是请求方法指示符，并对应于类似命名的HTTP方法。使用此请求方法指示符注释的Java方法将处理HTTP POST请求。资源的行为由资源响应的HTTP方法确定；

@Produces注释用于指定MIME媒体类型表示的资源可以产生和发送回客户端：例如，“text / plain的”；

@Consumes注释用于指定MIME媒体类型表示资源可以消耗这是由客户端发送的；@GET注解是请求方法指示符，并对应于类似命名的HTTP方法，使用此请求方法指示符注释的Java方法将处理HTTP GET请求，资源的行为由资源响应的HTTP方法确定；

@PathParam 注释是一个类型参数，可以提取的资源类的使用，URI路径参数从请求URI中提取，参数名称对应于@Path类级别注释中指定的URI路径模板变量名称。系统总的路由机制图与视图渲染如下所示：

图 2.2 路由机制图



首先客户端发来的http请求的根目录 / 可以映射到所有的Resource类

* RootResource类相当于一个一级路由，主要处理用户信息操作请求，比如用户登陆处理函数loginPost，由/ login路径进入；用户注销处理函数logout，由/ logout路径进入；用户注册处理函数regist()，由/regist路径进入。以及doApi(String tt, String op, Document input, LoginedUser lu)函数用来处理系统总的api请求。其中tt是targetTable的缩写，在一级路由时被识别，即要操作的目标表名；op是一些对特殊类的具体操作指令，在二级路由被识别, 如果在具体类的二级路由中没有被识别，则默认跳转到DB中的api路由函数进行处理，Configurable中的api路由函数是对数据库表记录的具体操作的封装。

Solvers类二级路由主要处理求解器部署的相关操作。如获取求解器列表，求解器分发，删除，以及更新；对求解器文件的操作和启动求解器。

表2.13 solvers类二级路由

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| op(操作) | 处理函数 | 含义 |
| list | \_\_SolverList | 获取求解器列表 |
| delete | solverDelete | 求解器删除 |
| distribute | solverDistribute | 求解器分发 |
| update | solverUpdate | 求解器更新 |
| file-list | solverFileList | 获取求解器文件列表 |
| file-get | solverFileGet | 获取求解器文件 |
| file-delete | solverFileDelete | 求解器文件删除 |
| file-appoint | solverFileAppoint | 求解器文件指定 |
| run | Run | 运行求解器 |

Agents类二级路由函数主要处理对计算节点的相关操作。如插入和获取节点信息：对计算节点对象的增加，删除，和获取。以及与求解器和在该节点上的一些具体操作。

表2.16 agents类二级路由

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| op(操作) | 处理函数 | 含义 |
| infoInsert | \_\_AgentInfoInsert | 插入节点信息 |
| list | \_\_AgentList | 获取节点列表 |
| get | \_\_AgentGet | 获取节点 |
| insert | \_\_AgentInsert | 增加节点 |
| delete | \_\_AgentDelete | 删除节点 |
| deletemany | 删除多个节点 |
| distribute | \_\_AgentDistribute | 发布节点 |
| solversList | \_\_AgentSolversList | 获取节点已安装求解器列表 |
| solvers-list |
| solversSelect | \_\_AgentSolversSelect | 节点选定求解器 |
| solvers-select |
| solversInsert | \_\_AgentSolversInsert | 节点部署求解器 |
| solvers-insert |
| solversDelete | \_\_AgentSolversDelete | 节点删除求解器 |
| solvers-delete | \_\_AgentSolversDelete | 节点删除求解器 |

ConfigurableCache类路由函数主要对数据库表的基本操作。包括以多种方式插入，删除，更新一条和多条数据；获取从表数据以及根据主表的某些字段获取从表数据。

表2.17 ConfigurableCache类二级路由

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| op(操作) | 处理函数 | 含义 |
| page | pageItems | 获得某page数据 |
| insert | insertItem | 插入一项数据 |
| get | getItem | 获得一项数据 |
| update | updateItem | 更新一项数据 |
| upsert | upsertItem | 修改或添加一项数据 |
| set | setItem | 修改一项数据 |
| array-insert | arrayInsertItem | 以数组方式插入一系列数据 |
| array-update | arrayUpdateItem | 以数组方式更新一系列数据 |
| array-delete | arrayDeleteItems | 以数组方式删除一系列数据 |
| vector-push | vectorPushItems | 以向量方式插入一系列数据 |
| vector-pull | vectorPullItems | 以向量方式删除一系列数据 |
| vector-update | vectorUpdateItem | 以向量方式更新一系列数据 |
| vector-copy | vectorCopyItem | 以向量方式复制一系列数据 |
| push | pushItem | 插入一项数据 |
| pushlist | pushList | 插入列表数据 |
| pulllist | pullList | 删除列表数据 |
| pull | pullItem | 删除一项数据 |
| list | getList | 获取列表数据 |
| foreign-list | getForeignList | 获取从表数列表数据 |
| list-as-foreign | getListAsForeign | 根据指定主表及其字段获取从该表列表 |
| delete | deleteItem | 删除一项数据 |
| deletemany | deleteMany | 删除多项数据 |
| count | count | 返回记录计数器 |
| distinct-count | distinctCount | 返回非重复记录计数器 |
| quick-search | quickSearch | 快速查询相关数据 |
| distinct | distinctString | 对相关字段去重 |
| lookup | lookup | 查询并对记录丢失数据处理 |
| clear | clear | 清空多项数据 |
| aggregate | aggregate | 聚合数据 |
| top | getTop | 查询基本数据 |

* StaticResource类主要用来处理静态资源请求映射的URL.如javascript脚本，image图片以及css层叠样式表。
* SolverFileResource类主要用来处理与求解器文件有关的请求操作，如求解器文件的上传，下载，删除，打开，以及求解器文件属性查询。
* FileResource类主要用来处理与文件相关的请求操作。如文件的上传，下载，删除，以及文件属性查询。
* LeaderFeedbackResource类主要用来处理中心控制节点LEADER 对 AGENT 内部反馈服务接口，处理AGENT api请求和 AGENT文件同步。
* 对所有路由函数的转发处理，大部分操作归根结底转化为对MongoDB数据库的操作。
* 前端浏览器界面是react组件，react是Mode-Driven View的实现，可以替代过去 JavaScript 代码直接操作前端真实 DOM，完全通过 state 以及 props 的变更引起页面 DOM 的变更，这比 jQuery 等框架那样进行大量的 DOM 查找与操作来得简单、高效的多。其优点是组件化 ，易复用解耦，数据控制视图。通过加载不同的Model数据控制不同的View视图渲染在浏览器端界面。

## 2.7本章小结

本章讨论系统的总体架构，包括采用的相关技术，如MongoDB数据库和Jetty服务器，描述了为什么使用该文档型Nosql数据库而不是传统的关系型数据库，以及jetty相比于tomcat是本项目更适合采用的服务器。介绍相关主要数据库表(solvers, tasks, agents, dists)相关字段的含义，系统结构设计，用户登录和超时注销，论述采用的路由机制与视图渲染方法，以及展示了系统主要的功能模块。

# 第3章 求解器按需部署及自动同步机制

## 3.1 需求分析

当网站服务器为单机架构时，对于求解器的部署更新往往采用人为手动复制进行版本的安装迭代，仅仅能应付初期求解器版本迭代较慢的时期。当网站架构转化为分布式集群架构时，集群中有多个计算节点时，采用人工部署安装方式效率低下，可能会导致版本错误以及文件复制遗漏等情况。如果求解器部署出现错误，用户在进行计算任务求解时会导致计算结果错误，对于计算耗时耗资源的一类求解器任务将会大量消耗服务器资源并且无法得出正确计算结果，会严重影响用户体验以及虚拟实验集成项目的进度开发，后期开发人员对系统进行维护时必将是个噩梦，为了减轻系统维护人员负担，增强用户体验以及提高项目的健壮性，迫切需要实现求解器模块相关功能，实现求解器的自动化部署。

## 3.2 求解器按需部署

管理员用户可以根据前端界面对求解器属性进行修改，例如新建/删除求解器。新建求解器后可以编辑求解器属性，如求解器名称，求解器描述，选择发布模式（包括集群发布和仅本地发布），求解器适合运行的操作系统，版本号，加载器(java, python)等，启动程序，启动参数，排队方式(标准队列，快速队列，不排队)。集群发布表示将该类求解器任务在所有求解器节点上进行发布，根据后续的调度策略选择最优计算节点进行计算；本地发布表示将该类求解器任务放在本地中心控制节点进行求解计算而不进行集群发布，减少了根据调度策略进行选择最优节点进行计算的步骤。求解器的排队方式有三种：标准队列表示求解器在集群发布时进行所有求解任务入队列操作，根据相应的调度策略进行选择最优计算节点的过程。选择快速队列则表示该类求解器任务具有优先级，例如根据以往每类求解器运行时间长短，可以将能够快速得到计算结果的求解器任务选择快速队列，目前该系统支持的快速队列节点为本地节点，省去了调度策略步骤，可以更快的响应用户实验结果的请求。不排队方式也是放在本地节点进行计算求解的，可以对应具有特殊需求的一类求解器任务。

SolverFileResouce类专门用来处理与solver求解器相关的请求，用户请求通过根路径/可以直接跳转到该类。

表 3.1 SolverFileResource函数功能表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 请求路径 | 函数名称 | 返回值类型 | 含义 |
| solver/{id}/file/delete/{fileLink: .\*} | fileDelete | java.lang.String | 删除求解器文件 |
| solver/{id}/file/download/{fileLink: .\*} | fileDownload | javax.ws.rs.core.Response | 求解器文件下载 |
| solver/{id}/file/open/{fileLink: .\*} | fileOpen | javax.ws.rs.core.Response | 打开求解器文件 |
| solver/{id}/file/info/{fileLink: .\*} | fileInfo | java.lang.String | 获取求解器文件属性 |
| solver/{id}/file/upload | fileUpload | java.lang.String | 上传求解器文件 |

Solvers类里包含了对求解器的基本操作。包括创建获取求解器源文件；求解器更新，发布，指定，删除操作；获取指定目录下所有求解器；获得与该求解器相关计算节点列表等操作。

表3.2 Solvers类函数功能表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 函数名称 | 返回值类型 | 含义 |
| router | org.bson.Document | 创建求解器源文件 |
| \_\_SolverList | org.bson.Document | 获取求解器源文件 |
| getRelateAgentList | java.util.List | 获得与 solver 相关 agent 列表 |
| solverUpdate | org.bson.Document | 求解器更新 |
| solverDistribute | org.bson.Document | 求解器发布 |
| solverFileAppoint | org.bson.Document | 求解器指定 |
| solverDelete | org.bson.Document | 求解器删除 |
| getComandLine | java.lang.String | 获取求解器启动命令 |
| run | org.bson.Document | 启动求解器 |
| solverFileGet | org.bson.Document | 获取求解器文件 |
| listSolverFile | java.util.List<Document> | 获取指定目录下所有求解器 |
| solverFileList | org.bson.Document | 显示求解器所有文件列表 |
| solverFileDelete | org.bson.Document | 求解器文件删除 |
| createSourceFile | java.io.File | 创建求解器源文件 |
| getSourceFile | java.io.File | 获取求解器源文件 |
| getHomeDirectory | java.io.File | 获取求解器安装根路径 |

求解器按需部署属性对应MongoDB的数据库字段如下：

{

"\_id" : "59e041ddf589d45478a2d960",

"name" : "K0803",

"label" : "作业海况",

"executor" : "K0803AllRun.exe",

"user" : "5978ab95f589d41b9cbab06d",

"createTime" : NumberLong(1507869149575),

"file" : "K0803A\_20190408.zip",

"updateTime" : NumberLong(1554697672166),

"os" : "windows",

"mode" : 0,

"queue" : 0,

"version" : 4,

"loader" : "",

"params" : ""

}

该json字段表示名称为K0803的求解器其部署属性，求解器执行文件为K0803AllRun.exe，user表示关联创建者ID， file指定求解器版本文件名称，createTime和updateTime分别是创建求解器和更新求解器的两个时间戳，os表示求解器运行的操作系统环境，mode为0表示集群发布，queue为0表示该求解器类型计算任务在分发时按标准队列排队，version表示求解器版本， loader和params为空表示求解器运行时不要加载器和启动参数。

在前端界面中，用户编辑好每一个求解器属性后可进入求解器信息详细界面，左侧显示求解器属性和执行参数等已编辑信息，右侧分别显示求解器执行文件和该类求解器对应的计算任务列表。求解器文件支持上传和刷新操作，目前求解器上传文件仅支持zip格式，求解器执行文件列表将显示最新版本求解器压缩文件及其相关文件，对每个版本的求解器版本压缩文件有两个操作：指定和删除。如果一个版本的求解器版本压缩文件被指定后，后续该类求解计算任务都会根据此版本的求解器进行求解计算。管理员每上传一个求解器执行文件，则新求解器执行文件的版本号加1，对应数据库相应字段version增1。

当求解器按需部署时，需要在计算节点界面安装求解器列表面板选择添加未安装求解器，选定好需要在本节点部署的求解器后，计算节点agent会向控制leader发出“syn”同步指令，调用相关方法，由求解器自动同步机制实现控制节点到计算节点的求解器版本迭代安装。

## 3.3 求解器自动同步机制

集群中每个计算节点详细界面可以显示该节点已经安装的求解器列表，管理员可以选择在该列表中添加求解器，点击添加求解器后，会显示控制节点求解器中央仓库中所有最新版本的求解器，管理员可以根据复选框添加相应的求解器。之后求解器会根据相应的自动同步机制进行同步。例如计算节点E206，IP地址为192.168.1.216的节点上已经安装求解器列表如下：

表3.3 E206计算节点已安装求解器列表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 求解器名称 | 版本 | 描述 | 操作系统 | 执行状态 |
| [K0304](http://202.118.184.201:10001/#/solvers/59fee826f589d42b7864def2/) | 5 | 船舶快速性预报 | MS Windows | 同步成功 |
| [K0401](http://202.118.184.201:10001/#/solvers/5b35f2bdf589d4116459bd5e/) | 1 | 激振力预报 | MS Windows | 同步成功 |
| [K0602](http://202.118.184.201:10001/#/solvers/5bab4cabf589d4116459bd5f/) | 3 | 快速自航模 | MS Windows | 同步成功 |
| [K0603](http://202.118.184.201:10001/#/solvers/59feeb4cf589d42b7864def3/) | 6 | 船舶操纵运动 | MS Windows | 同步成功 |
| [K0701](http://202.118.184.201:10001/#/solvers/59ff00b7f589d42b7864def4/) | 1 | 大尺度海洋环境 | MS Windows | 同步成功 |
| [K0901](http://202.118.184.201:10001/#/solvers/5a097e9bf589d41c54cfff68/) | 1 | 涡激振动 | MS Windows | 同步成功 |

如果管理员需要在某个计算节点上添加相应的求解器，当复选未安装求解器列表中的求解器并点击确认时，相应的计算节点会向中心控制节点发出特定的http下载请求，从控制节点求解器中央仓库目录下载选中的求解器到计算节点本地求解器目录。接着在该计算节点相关联的求解器列表就可以看到刚刚安装的求解器了。求解器的同步以及启动状态在DEF类里定义，如下表所示：

表3.4 求解器同步及启动状态

|  |  |
| --- | --- |
| 状态 | 含义 |
| \_SOLVER\_SYN\_STATUS\_CAN\_NOT\_SYN = 0 | 无法同步 |
| \_SOLVER\_SYN\_STATUS\_WAITING = 1 | 等待启动 |
| \_SOLVER\_SYN\_STATUS\_STARTED = 2 | 启动 |
| \_SOLVER\_SYN\_STATUS\_FINISHED = 3 | 已同步成功 |
| \_SOLVER\_SYN\_LEADER\_FILE\_LOST = -1 | 无法连接上级 |
| \_SOLVER\_SYN\_STATUS\_FILE\_CAN\_NOT\_DOWNLOAD = -2 | 上级无法下载文件 |
| \_SOLVER\_SYN\_STATUS\_FILE\_CAN\_NOT\_UNZIP = -3 | 文件无法解压 |

## 3.4 求解器状态获取

中心控制节点需要知道自己本地的求解器状态以及计算集群各节点上的求解器状态。

本地求解器状态：通过查询数据库相关字段获取。

集群求解器状态：每个计算节点维护一个AgentSolverFileSynKeeper实例线程，在求解器同步的每个阶段调用reportSolverStatus方法，向控制节点发送自身的求解器状态信息。

## 3.5 异常处理

（1）求解器更新操作solverUpdate函数需要处理的异常：用户无操作权限，参数错误缺少求解器ID，更新的value值格式错误，求解器不存在，更新失败。

（2）求解器发布操作solverDistribute函数需要处理的异常：用户无操作权限，参数错误，求解器不存在，操作系统未指定，未指定求解器文件，指定文件不存在，指定文件类型错误，发布失败。

（3）求解器文件指定操作solverFileAppoint函数需要处理的异常：用户无操作权限，参数错误，仅支持zip格式文件，求解器不存在，指定文件已经在使用中，指定文件不存在，指定文件类型错误。

（4）求解器删除操作solverDelete函数需要处理的异常：用户无操作权限，删除失败。

（5）获取求解器启动参数操作getComandLine函数需要处理的异常：未输入启动命令。

（6）求解器运行时操作run函数需要处理的异常：用户无操作权限，求解器不存在，求解器正在执行中不能重复启动。

（7）显示求解器列表操作\_\_SolverList函数需要处理的异常：用户无操作权限，数据库访问错误。

## 3.6 日志信息

在求解器模块中对求解器按需部署及自动同步机制提供详实的日志信息，记录用户操作请求的日志，将求解器同步的各个过程可回溯，在面对异常处理时，能快速定位问题的根源以及追踪程序执行的过程。

### 3.6.1 agent求解器同步日志

例如E209节点，编号为5c90d3c7f589d41918717c08, E208节点编号为5c9099d5f589d423d064a4cf。同步K0304编号为59fee826f589d42b7864def2的求解器其响应的请求和响应日志如下：

表3.5 求解器同步日志

|  |  |
| --- | --- |
| 请求 | 响应 |
| E209节点同步K0304求解器  { "TT":"leader",  "OP":"solverSyn",  "value":{  "agent":"5c9099d5f589d423d064a4cf",  "solver":"59fee826f589d42b7864def2",  "version":3,  "status":3  }  } | 响应  {  "RC":"OK",  "TT":"leader",  "OP":"solver-syn"  } |
| E208节点同步K0304求解器  { "TT":"leader",  "OP":"solverSyn",  "value":{  "agent":"5c90d3c7f589d41918717c08",  "solver":"59fee826f589d42b7864def2",  "version":3,  "status":3  }  } | 响应  { "RC":"OK",  " TT":"leader",  "OP":"solver-syn"  } |

### 3.6.2 leader发布求解器日志

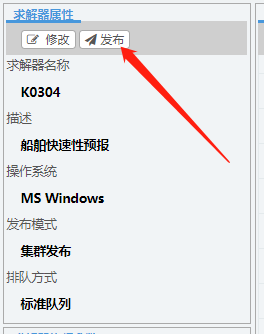


图3.1 发布K0304求解器

例如当发布K0304求解器时,日志信息如下：

表3.6：leader发布求解器日志

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 请求 | 响应 | 日志 |
| {  "TT":"solver",  "OP":"distribute",  "\_id":"59fee826f589d42b7864def2"  } | {  "RC":"OK",  "value":{  "\_id":"59fee826f589d42b7864def2",  "name":"K0304",  "label":"船舶快速性预报",  "user":"5978ab95f589d41b9cbab06d",  "createTime":1509877798722,  "executor":"srm.exe",  "updateTime":1553060426717  "relativeFiles":[  {"name":"report\_te mplate.doc"}  ],  "os":"windows",  } | NextHostKeeper recever message => 5c9099d5f589d423d064a4cf  {  "action":"syn",  "solver":"59fee826f589d42b7864def2"  }，  NextHostKeeper recever message => 5c90d3c7f589d41918717c08  {  "action":"syn",  "solver":"59fee826f589d42b7864def2"  } |

## 3.7 本章小结

本章论述作业调度平台中心控制系统求解器功能模块的需求分析，求解器的按需部署包括求解器属性的编辑，选择求解器运行的操作系统，发布模式，排队方式等。求解器的自动同步机制是当管理员在某个计算节点添加未安装求解器时，计算节点会自动向中心控制节点请求同步该求解器最新版本的可执行文件，求解器相关操作函数的异常处理以及agent求解器同步日志与leader发布求解器日志。

# 第4章 计算节点管理

## 4.1 需求分析

中心控制节点要实现对计算节点进行管理，就必须要与下级计算节点进行通信。维持主从节点通信需要实现特定的心跳机制，控制节点发送消息到计算节点， 控制节点接收计算节点消息时会进行反馈。对于集群管理来说，一个必不可少的步骤就是集群监控。假设一种情况，当成百上千台机器在那里工作，如果不知道它们的工作状态，会对系统开发和维护人员造成很大的工作负担，无法实时获取集群资源状态，就不能对系统业务量进行合理评估。还有，如果没有监控，就无法评价自己开发的程序是否高效。从架构上讲，主节点和从节点都会运行监控程序，主节点(以下称为leader)负责收集从节点数据并分析展示，从节点程序(以下称为agent)负责采集本节点的状态信息。从agent的角度来看数据采集的工作模式一般分为两种：主动模式和被动模式，主动模式即agent主动上报资源状态数据并汇报给leader，被动模式即leader收集各agent资源状态数据(如当前计算节点的作业负载，CPU利用率，内存利用率等)。Leader所收集到的集群各节点资源状态数据对后续集群任务分发与调度策略的实现将产生十分重要的影响。

## 4.2 心跳机制

NextAgentkeeper类用于保持对下级节点的状态处理，继承自java.lang.Thread，在每个线程体的run()方法中, leader与agent进行维持心跳，通过轮询方式，判断消息队列queue头部取出的消息message是否为空，如果message为空的话，则leader与agent每 5秒进行一次消息的同步，并且当每个agent上运行的任务错误量大于3时，则强制将该agent下线。如果message不为空，则通过相应的消息路由函数转发到具体的消息处理函数对该消息进行处理。

## 4.3 Leader发送消息

NextAgentkeeper的每个实例线程内部实现了以LinkedBlockingQueue为数据结构的消息队列queue， leader可以向agent发送“syn”, “taskRun”, “taskKill”三类消息。每个消息类型是一个org.bson.Document对象。消息头包括包括TT即targetTable表示需要操作的目标数据库表；OP即Operation表示消息类型代表的具体操作；\_PORT表示连接的服务端口即HTTP.SERVICE\_PORT。

“syn”同步消息消息体为： \_Agent代表自身节点信息；\_SOLVERS表示该agent已安装求解器列表信息；\_TASKS表示和该agent有关联的任务信息包括正在执行任务，等待启动任务，完成启动任务。其消息格式图如下表所示:

表4.1 “syn”消息格式

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TT | OP | \_PORT | \_AGENT | \_SOLVERS | \_TASKS |

“taskRun”任务启动消息消息体为\_VALUE表示task的相关信息。

表4.2 “taskRun”消息格式

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| TT | OP | \_PORT | \_VALUE |

“taskKill”任务结束消息消息体为\_ID表示需要结束任务的ID。

表4.3 “taskKill”消息格式

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| TT | OP | \_PORT | \_ID |

Leader发送消息时通过消息队列进行发送。sendMessage(Document message)为其消息生产函数, 通过对消息进行加锁，将消息添加到消息队列中并唤醒其他所有线程。

消息消费过程在线程体run()方法中，方法体中会开启一个无限循环，使用queue.poll()方法从消息队列的头部取出消息，通过handleMessage(message)方法对消息进行处理。

## 4.4 Leader接收消息反馈

Agent会通过主动模式用特定封装方法将自身的资源状态信息汇报给leader, leader在接收Agent消息后会进行消息反馈。LeaderFeedbackResource类是LEADER 对 AGENT 内部反馈服务接口。当agent发送消息给leader后，leader会将请求为json格式的消息进行分拆解析，相当于报文拆分，并处理其中的异常。Leader在解析Agent消息后，要进行响应，即消息反馈，Leader进行消息反馈的消息格式如下表，其中OC代表RETURN\_CODE\_TAG即返回状态码。

表4.4 反馈消息格式

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| TT | OP | RC |

## 4.5 Leader收集集群各agent的资源状态

以计算节点E208为例，每个计算节点有如下字段属性：

{

"\_id" : "5c9099d5f589d423d064a4cf",

"name" : "E208",

"ip" : "192.168.1.218",

"os" : "windows",

"port" : 10001,

"path" : "Y:/TANK/projects",

"maxLoads" : 4,

"updateTime" : NumberLong(1554791827884),

"status" : 1,

"loads" : 3,

"solvers" : [

"59fee826f589d42b7864def2",

"5b35f2bdf589d4116459bd5e",

"5beb788ff589d4312cc24eaf",

"5b35e93af589d4116459bd5d",

"5978ac60f589d41b9cbab06e",

"5bab4cabf589d4116459bd5f",

"59feeb4cf589d42b7864def3",

"59ff00b7f589d42b7864def4",

],

"suspend" : false

}

\_id表示计算节点编号，name节点名称，ip地址，ip端口，os表示操作系统，path表示该计算节点存储求解任务计算结果的根路径。maxloads表示该计算节点设置的最大负载即缺省并行计算的最大作业量，updateTime代表该节点资源状态更新的时间戳。status代表节点的在线状态，在DEF类里设置了三个枚举值；loads表示当前节点负载即正在运行的作业数量。solvers字段是一个json数组，为该计算节点已经安装的所有求解器的\_id集合，suspend字段表示该节点是否挂起，以下是计算节点status字段属性。

表4.5: 计算节点status状态

|  |  |
| --- | --- |
| 状态 | 含义 |
| \_AGENT\_SYN\_STATUS\_UNKNOW = -1; | 未知状态 |
| \_AGENT\_SYN\_STATUS\_OFF\_LINE = 0 | 离线状态 |
| \_AGENT\_SYN\_STATUS\_ON\_LINE = 1 | 在线状态 |

可通过查询数据库的方式获取收集各agent的资源状态信息，主要代码如下：、

表4.6 收集agent资源状态

|  |
| --- |
| Document agentItem = DB.agent.\_\_get\_by\_id(this.agentId, DEF.\_IP,  DEF.\_PORT, DEF.\_SOLVERS,  DEF.\_STATUS, DEF.\_LOADS); |

## 4.6 本章小结

本章论述了节点管理模块的功能，重点讲述了控制节点leader与计算节点agent互相通信时维护的心跳机制，leader给agent发送消息的三种消息格式“syn”, “taskRun”, “taskKill”，以及leader接收agent消息响应后的消息反馈和被动模式收集集群资源状态数据。

# 第5章 集群任务分发与负载均衡调度策略的实现

## 5.1 需求分析

当服务器停留在单机架构时，随着业务的增加，访问量的提高和数据的不断堆积，系统会变得越来越慢，硬件设备的更新换代是一个必不可少的工作。在达到同等性能的条件下，采用计算机集群比采用同等能力的计算机所花的代价要小很多，能降低成本；采用传统服务器的用户如果需要大幅度扩展系统的能力，就必须购买昂贵的服务器，将单机架构过渡到集群技术，只需要将新的服务器加入集群即可，相比而言提高了系统的扩展性。作业调度平台中心控制系统相当于一个代理负载均衡器，整个系统则为负载均衡集群。每个计算节点都可以承担一定的处理负载，并且可以由中心控制节点实现处理负载在计算节点之间的动态分配。作业调度平台中心控制节点应用服务要求分布式集群检查每个计算节点检查当前的负载，并确定哪些节点可以接受新的作业，以实现集群的任务分发。

## 5.2 总体实现

图5.1 任务分发时序图



在LeaderServer.init()函数中进行开启中心控制节点服务后，首先启动LeaderTaskSender线程实例处理任务分发，接着获取agent数据表中所有计算节点的集合agentList。遍历该agentList, 中心控制节点启动相应数量的线程及NextAgentKeeper线程实例对下级计算节点进行任务状态处理以及消息通信。

LeaderFeedbackResource是Leader对Agent的内部反馈接口。当请求路径为/leader可以直接跳转到agentApi()函数，用于处理对agent的api请求。agentApi()会调用LeaderFeedbackService.router(), 处对agent的具体请求，如“solverSyn”求解器同步，“taskSyn”任务同步。然后由router()路由函数跳转到具体处理该请求的函数。

## 5.3 集群任务分发

LeaderTaskSender类是专门用来处理集群任务分发，继承自java.lang.Thread类，实现方式使用了单例设计模式，LeaderTaskSender类只有一个实例，该类由getInstance方法自行创建该实例，向整个系统公开这个实例接口。

LeaderTaskSender的启动在创建该对象实例instance时进行，在初始化静态块中为所有线程加入了异常处理，设置了线程异常的打印和处理信息。

在进行集群任务分发时，必要的基础条件是获取当前有效的计算节点资源状态。getValidAgentList方法首先构建求解器映射表，求解器映射表是一个以Map数据结构的变量。

其次获取活跃的计算节点列表，接着使用DB.\_list(Document where, Document order, Document select)非分页方式获取获取所有在线计算列表，此处的参数where是查询条件，即要查询的条件为{“status” : 1}的所有计算节点，参数order值为NULL表示不排序，select的参数值表示查询结果投影的字段，此处为DEF.\_LOADS, DEF.\_MAX\_LOADS，DEF.\_SOLVERS， DEF.\_PATH。将这些查询信息添加到agenList里。

接着遍历该agentList, 首先获取agentID, loads, maxLoads字段，比较计算节点当前负载量loads和最大设置负载量maxLoads。如果当前作业负载量小于最大负载量，首先获取该计算节点的所有求解器ID列表solverIds, 判断该agent是否配置了solver, 如果配置了solver则从求解器映射表里获取该solver的相关属性solverItem, 并将其添加到solverList里。如果solverList不为空，则将其添加到activeAgentlist中。如果activeAgentList中活跃的计算节点数大于2，则根据每个节点的剩余负载量（最大负载量-当前负载量）对activeAgenList活跃计算节点列表进行一个排序，返回活跃计算节点列表剩余负载量的一个升序版本。在DEF类中对Task求解任务的每一个状态进行标识。

表5.1 Tsk属性标识

|  |  |
| --- | --- |
| 状态 | 含义 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_CREATE = 0 | 未启动 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_PENDING = 1 | 等待启动 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_HAS\_= 2 | 已启动 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_IS\_RUNNING = 3 | 执行中 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_IS\_KILLED = 4 | 强制停止 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_HAS\_FINISHED = 5 | 执行结束 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_RECORD\_LOST = -1 | 任务不存在 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_FAILED\_STARTED = -2 | 启动失败 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_EXCEPTION\_STOP = -3 | 意外停止 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_IS\_CANCLED = -4 | 取消 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_SOLVER\_NOT\_EXIST = -5 | 求解器不存在 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_SOLVER\_NOT\_DIST = -6 | 求解器未发布 |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_AGENT\_INTERNAL\_ERROR = -7 | 计算节点内部错误(重启) |
| \_TASK\_RUN\_STATUS\_TASK\_CANNOT\_CREATE = -8 | 任务无法创建 |

## 5.4 负载均衡调度策略实现



图5.2 负载均调度策略流程图

负载均衡调度策略的实现一共分为四步：首先获取未分配任务列表，构建求解器映射表，填充求解器映射表，将任务按顺序进行分配。doSend()方法是处理集群任务分发的函数。

### 5.4.1 获取未分配Task列表

由getUndistTaskList()方法先获取未分配的task列表存储在taskList中。并设置计数器count,初始值设置为0,代表将要分发的任务个数。

getUndistTaskList()方法原型如下：首先设置查询条件为undistTaskWhere, 即以任务状态为\_TASK\_RUN\_STATUS\_PENDING = 1 等待启动的任务为过滤条件。排序方式为按照\_ID降序。在获取未分配Task列表时对线程对象进行加锁，保证数据的可靠性。

### 5.4.2 构建求解器映射表

首先根据undistTaskList未分配Task列表，获取所有相关task对应求解器Solver的编号\_ID.存储在以List<string>为数据结构的solverIds变量中。其次以DEF.\_VERSION, DEF.\_LOADER, DEF.\_EXECUTOR字段构建求解器映射表solverMap。

### 5.4.3 填充求解器映射表

找到每一个求解器可以分配的节点列表。

1. 首先先找到solver在每个agent上的分配情况：项目中的dist数据库表是专门用来连接solver和agent的。比如名称为E209计算节点可以映射一个或多个求解器。
2. 获取初级比较指标loads：在dist数据表中获取agentID字段的不重复值：List agentIds = DB.dist.\_\_distinct(DEF.\_AGENT, where, null);如果agentIds不为空，则从agent表中获取以DEF.\_LOADS, DEF.MAX\_LOADS, DEF.PATH为集合的agent列表agentList。如果agentList不为空，则遍历agentList。从agentList取出每一个成员项agent,获取相应的agentID, loads, maxLoads。
3. 获取准确比较指标loads：如果当前遍历agent节点的作业负载loads大于最大负载阈值maxLoads,则将该agent从agentList中移除。否则获取准确负载后再比较一次，从Task数据表中统计该agent的所有作业负载，包括正在运行，等待启动和已经启动的任务。如果获取的准确负载loads大于最大负载阈值maxloads, 则从agentList中移除该节点。否则，计算该节点剩余负载，即leftloads = maxLoads – loads。并将该字段项写入agent数据表中。
4. 将可用的agent列表写进solver表字段中，并且通过reorderAgentList函数将可用的agent按照leftLoads降序排列，目的是将任务分配到最空闲的agent中。

### 5.4.4 将Task按顺序进行分配

1. 获取等待启动的任务Task：从task数据表中获取任务状态为等待启动的任务即标识为\_TASK\_RUN\_STATUS\_PENDING。获取该taskIntem。如果taskItem为空，则该task在分配前已经被取消，打印日志信息并且从taskList中移除该task。
2. 获取该task关联的求解器映射信息：从task数据表中的每一项taskItem取得taskId, solverId。然后根据该solverId从求解器映射表solverMap中获取该solver的映射信息solverItem。如果solverItem为空，则更新task表status字段为求解器不存在即\_TASK\_RUN\_STATUS\_SOLVER\_NOT\_EXIST，并追加日志信息字DEF.\_MESSAGE为“求解器已经删除”, 添加相应的时间戳。
3. 任务分配与后处理：如果求解器不为空，首先从该solver求解器映射表中获取该求解器可分配的计算节点列表agentList。如果agentList不为空则逐项进行任务分配，否则留待以后处理。遍历agentList的每一项，获取agentId以及剩余负载leftLoads, 如果leftLoads大于0，则中心控制节点将发送任务运行消息到该计算节点启动求解任务计算，如果任务启动成功，则从任务列表taskList中移除该任务，更新agent表中leftLoads为leftLods – 1，最后对agentList中的所有节点进行重新排序，计数器count增1，doSend（）函数返回成功分配的任务个数。

## 5.5 节点任务状态处理

NextAgentKeeper类是中心控制节点用于保持对下级节点的任务状态处理的类，也继承自java.lang.Thread类，其私有成员里有以Map为数据结构的\_map。Key为\_id，Value为NextAgentKeeper实例。agentId表示计算节点id, errCount表示计算节点上运行错误的任务量计数器。lastTime表示结束时间戳，isKilled为布尔变量表示中心控制节点对该下级节点管理的线程是否结束。

queue是实现了LinkedBlockingQueue<Document>数据结构的阻塞消息队列，LinkedBlockingQueue是一个线程安全的阻塞队列，实现了先进先出等特性，是作为生产者消费者的首选，可以指定容量，也可以不指定，不指定的话默认最大是Integer.MAX\_VALUE，其中主要用到put和take方法，put方法将一个对象放到队列尾部，在队列满的时候会阻塞直到有队列成员被消费，take方法从head取一个对象，在队列为空的时候会阻塞，直到有队列成员被放进来。构造方法将每个线程实例绑定一个agentId。

### 5.5.1 成功状态处理

onSucceed(int status)成功状态处理函数，更新时间戳，设置错误计数器errCount为0，更新该线程实例相关联的计算节点agent状态status为在线状态。

### 5.5.2 未知错误处理

onFault(int status)未知错误处理函数，更新时间戳，并更新该线程实例相关联的计算节点agent状态status为\_AGENT\_SYN\_STATUS\_UNKNOW未知状态。

### 5.5.3 错误处理

onError(int status)为错误处理函数，更新时间戳，更新错误处理计数器errCount增1，如果errCount大于3，则设置该线程实例相关联的计算节点agent状态status为\_AGENT\_SYN\_STATUS\_OFF\_LINE离线状态。

### 5.5.4 任务分配失败处理

onTaskRunSendErr(Document task)任务分配失败处理函数，会将该task记录的相关字段如agent编号（DEF.\_AGENT），求解器版本（DEF.\_VERSION），任务分发时间（DEF.\_DIST\_TIME）置零，并将该任务记录从tasks数据表中删除。

## 5.6 节点任务消息处理

NextAgentKeeper中的路由函数为handleMessage(Document message)。当message中action字段为“syn”时，调用doSynSend()方法同步求解器和状态信息；action字段为“taskRun”时，调用doTaskRunSend()方法，中心控制节点方法发送任务启动命令到相应线程实例关联的计算节点上。action字段为“kill”时, 调用doTaskKillSend()方法,中心控制节点方法发送任务结束命令到相应线程实例关联的计算节点上。否则，打印消息NextHostKeeper 不支持下发消息类型。

sendSolverSynMessage(String solverId)函数发送求解器同步消息。同步以solverId为编号的求解器。

sendTaskKillMessage(Document taskItem)函数发送结束任务消息，参数为taskItem。

sendMessage与sendSolverMessage和sendTaskKillMessage方法的调用过程如下：



图5.3 sendMessage函数的引用关系

sendMessage(Document message)传递Document为类型的message，对阻塞队列queue进行加锁。将该消息message加入队列并唤醒所有线程并打印日志信息。

sendTaskRunMessage(Document taskItem, Document solverItem, Document agentItem)函数有以Document为类型的三个参数taskItem， solverItem， agentItem。首先根据taskItem获取taskId, 接着根据solverItem获取求解器版本号version。设置查询条件where，以及更新值update对task表记录进行更新。添加”taskRun”命令到阻塞队列queue中，并唤醒其它所有线程。

## 5.7 本章小结

本章是关于作业调度平台中心控制节点对集群进行任务分发，中心控制节点对下级计算节点进行管理通信，以及调度策略的设计与实现。集群任务分发和对下级节点进行管理的核心是对线程，数据库表task, dist, solver, agent数据进行查询更新与删除操作，以及多种边界异常的处理。调度策略的设计与实现主要依据求解器映射表的填充，每个solver类型的求解任务会映射一个或多个按照leftLoads进行降序排列的agent，当发送具体任务时，可以根据求解器映射表将该求解类型相关任务优先分配到剩余负载最大的计算节点上，并更新task, agent数据表相应字段，求解器映射表等有关状态字段，为下一次求解任务分发做准备。

# 结 论

作业调度平台中心控制系统的核心是求解器管理模块，节点管理模块，集群任务分发和调度策略的实现。

（1）理论价值：随着中国数值水池网站虚拟实试验的不断集成，爆炸式海量数据处理逐渐成为单机服务器的重要瓶颈，通过增加硬件方式提升数据处理能力的传统方式存在投资资本大的缺点，分布式集群技术通过特定连接方式，将廉价服务器结合起来，从而提高作业平台的并行求解与处理能力。系统提出一种基于代理服务器的模型，将求解器管理，节点管理，任务分发和调度策略等功能通过该代理服务器即中心控制节点来执行，从而使得集群整体性能最优。

（2）实用价值：求解器管理模块的功能实现解决了系统维护人员在分布式集群环境下手工迭代各计算节点求解器版本文件的难题，大大提高了工作效率。集群任务分发使得所有求解任务在分布式环境中运行有条不紊，调度策略能综合考量集群各计算节点资源利用率，求解器映射表以最高效的方式将等待启动的求解任务从队列中依次出队与计算节点进行映射。将求解器列表，计算任务列表，计算节点列表等模块可视化展示在浏览器界面上，将整个集群所有资源状态集中展示，方便系统管理员对整个系统进行扩展和性能评估。

（3）遗留问题及改进方案：中心控制节点仅仅用集群各计算节点当前的作业数量反映计算节点的真实负载情况，还需要对系统的性能，相应时间，I/O和网络带宽等参数进行剖析，可以采用双机热备份负载均衡器，同时引入一个负载冗余以动态调整节点负载分配，从而达到尽量简化中心控制节点的任务分配算法、最大限度满足系统最大吞吐率和提高系统响应时间的目标，真正做到将计算集群的求解效率提高；

# 参考文献

[1] Karatza H D . A simulation model of task cluster scheduling in distributed systems[C]// IEEE Workshop on Distributed Computing Systems. IEEE, 1999.

[2] Neamatollahi P , Naghibzadeh M , Abrishami S , et al. Distributed Clustering-Task Scheduling for Wireless Sensor Networks Using Dynamic Hyper Round Policy[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2018.

[3] Zhang B Y , Mo Z Y , Yang G W , et al. Scheduling Efficiently for Irregular Load Distributions in a Large-scale Cluster[C]// International Conference on Parallel & Distributed Processing & Applications. Springer-Verlag, 2005.

[4] Kanemitsu H , Lee G , Nakazato H , et al. Static task cluster size determination in homogeneous distributed systems[M]// Software Automatic Tuning. Springer New York, 2011.

[5] Chen W , Rafael F D S , Deelman E , et al. Using imbalance metrics to optimize task clustering in scientific workflow executions[J]. Future Generation Computer Systems, 2015, 46:69-84.

[6]汪洋. Linux集群数据生成及管理工具中任务管理模块的设计与实现[D]. 2014.

[7]杨义彬. 基于云计算的分布式处理框架的研究与设计[D]. 电子科技大学, 2011.

[8]李博, 袁曙涛, 魏晓辉, et al. 一个综合性集群监测模型MCM的设计与实现[J]. 吉林大学学报(理学版), 2008, 46(01).

[9]燕明磊. Hadoop集群中作业调度研究[J]. 软件导刊, 2015(4):1-2.

[10]杨冬菊, 胡正国. 应用代理机制实现异构集群系统的管理[J]. 西北工业大学学报, 2001(4):644-647.

[11]邓景文. 集群系统下面向用户的作业公平调度算法[D]. 北京邮电大学, 2008.

[12]安喜锋. 高性能计算集群管理系统与作业调度技术研究与实现[D]. 西北工业大学, 2005.

[13]王越峰. 基于Hadoop集群的作业调度算法研究与改进[D].

[14]杨冬菊. 异构集群管理系统的关键技术研究[D]. 西北工业大学, 2002.

[15]董世龙. 基于模糊聚类的云任务调度优化策略研究[D]. 广西大学, 2014.

[16]田珍. 基于集群技术的作业管理系统研究与应用[D]. 西北工业大学, 2006.

[17]魏士祥. 面向过程感知的云作业资源调度[D]. 南京理工大学, 2014.

[18]何林. 面向网格计算的多集群间作业调度策略的设计与实现[D]. 哈尔滨工业大学.

[19]刘海龙. 基于集群技术的作业管理系统[D]. 西北工业大学, 2005.

[20]喻俊, 艾迪. 计算机网络集群分布式调度方法[J]. 金卡工程, 2013(10):25-26.

[21]丁晶晶. MapReduce框架下的任务调度算法研究[D]. 2017.

[22]唐一韬, 黄晶, 肖球. 一种基于DAG的MapReduce任务调度算法[J]. 计算机科学, 2014, 41(s1):42-46.

[23]黄展智. 物联网任务分布式调度策略的研究[D]. 2016.

[24]应对平台高并发的分布式调度框架TBSchedule[J]. 电脑编程技巧与维护, 2016(7):4-4.

[25]乔兵, 孙志俊, 朱剑英. 基于Agent的分布式动态作业车间调度[J]. 信息与控制, 2001, 30(4):292-296.

[26]安喜锋. 高性能计算集群管理系统与作业调度技术研究与实现[D]. 西北工业大学, 2005.

[27]周凯. 高性能计算中作业调度技术与集群管理系统的研究[D]. 2015.

[28]李永峰, 周敏奇, 胡华梁. 集群资源统一管理和调度技术综述[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2014, 2014(5):17-30.

[29]曾丽. 基于化学计量学的远程计算平台[D]. 四川大学, 2005.

[30]谢博. 动态可复用云平台作业调度系统[D]. 华中科技大学.

[31]李松松. 基于OpenLava的虚拟机调度子系统的设计与实现[D]. 2015.

# 攻读学士学位期间发表的论文和取得的科研成果

致谢

高中的老师为了鼓励学生高考，会告诉学生上大学会很轻松可以放开玩了。四年前，我也是带着这样无比憧憬的心情来到了父母眼中殷切希望的象牙塔，如今，在哈尔滨这座城市，经历过四年的春夏秋冬，才懂得大学真正的作用是让我看到更好的风景，明白人生的意义，大学将赋予我足够的时间和实践去认真思考怎样的人生才是有意义的人生，将重新树立一个人的价值观、人生观、世界观。

大学之前对软件工程这个专业一无所知，虽然在填报高考志愿之后也是懵懵懂懂，只是将自己不擅长和不喜欢的专业过滤掉了。一个月的大学生活后，我很庆幸自己当初的选择，我可以在日常其他专业同学眼中枯燥的码农生活感到乐趣，以及在课余时间外，每天疯狂的在网上搜集学习视频资源，终于还是自己摸索到了正确的技术栈学习路线。大二的时候，一直梦想着能进入实验室，又深恐自己能力不足，在这里还是要非常感谢自己的导师，很荣幸导师给予的机会。从大二到大三期间，一直在接触中国数值水池这个项目，期间经过很多的磨练和导师给予的指导，让我深深感觉到了自己能力的不足，也会感觉到自己每天会变得更成熟。大三下学期，开始忙着找实习，经过五个月的工作生活，还是越发怀念校园生活。

感谢我的导师，我的大学。大工至善，大学至真。六月了，又是到了拍毕业照以及毕业聚餐的时期，在听着张韶涵的再见青春歌曲，心里也会百感交集，人生中总免不了依依惜别，未来的路还是会有更好的风景，但这四年的时光却是寸金难买的。再见青春，永恒的迷惘。