注：居中，宋体，小一号，加黑，学术型硕士填写内容为“硕士学位论文”；专业学位硕士填写内容为“专业学位硕士学位论文”。阅后删除此文本框。

注：此页为封一。

阅后删除此文本框。

注：此处是论文中英文题目，中文题目，不超过20个汉字，居中，字体：华文细黑，加黑，字号：二号，行距：多倍行距1.25，间距：前段、后段均为0行，取消网格对齐选项。英文题目，与中文题目对应，居中，字体：Times New Roman，字号：三号，加黑，行距：多倍行距1.25，间距：前段、后段均为0行，取消网格对齐选项。阅后删除此文本框。

硕 士 学 位 论 文

大连理工大学硕士学位论文格式规范

The Format Criterion of Master Degree Thesis of DUT

注：此处是研究生论文的标识，按照实际情况填写即可。打印（宋体，小三）或手写都可以。工程硕士将“学科、 专业”标题改为“工程领域”。阅后删除此文本框。

作 者 姓 名：

学科、 专业：

学 号：

指 导 教 师：

完 成 日 期：

大连理工大学

Dalian University of Technology

大连理工大学学位论文独创性声明

注：此页为封二。

阅后删除此文本框。

作者郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用内容和致谢的地方外，本论文不包含其他个人或集体已经发表的研究成果，也不包含其他已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。

学位论文题目：

作 者 签 名 ： 日期： 年 月 日

注：此页内容不需要任何修改，手写签名并填写日期即可。

阅后删除此文本框。

摘 要

注：奇数页页眉，居中，宋体，五号，学术型硕士填写内容为“大连理工大学硕士学位论文”；专业学位硕士填写内容为“大连理工大学专业学位硕士学位论文”。阅后删除此文本框。

大连理工大学硕士研究生撰写学位论文应当符合写作规范和排版格式的要求，以下格式为研究生院依据国家标准和行业规范所编制的硕士学位论文模板，供硕士研究生参照使用。

摘要部分说明：

“摘要”是摘要部分的标题，不可省略。

标题“摘要”选用模板中的样式所定义的“摘要”；或者手动设置成字体：黑体，居中；字号：小三；1.5倍行距，段前为0行，段后1行。

论文摘要是学位论文的缩影，文字要简练、明确。内容要包括目的、方法、结果和结论。单位制一律换算成国际标准计量单位制，除特殊情况外，数字一律用阿拉伯数码。文中不允许出现插图，重要的表格可以写入。

摘要正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2个汉字；或者手动设置成每段落首行缩进2个汉字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行，取消网格对齐选项。

篇幅以一页为限，摘要正文后列出3－5个关键词，关键词与摘要之间空一行。

“关键词：”是关键词部分的引导，不可省略，黑体，小四。

关键词请尽量用《汉语主题词表》等词表提供的规范词。关键词之间用分号间隔，末尾不加标点。

关键词：写作规范；排版格式；硕士学位论文

注：字体：仿宋\_GB2312，小四；关键词之间用分号间隔。阅后删除此文本框。

The Format Criterion of Master’s Degree Paper of DUT

注：论文英文题目。

阅后删除此文本框。

注：偶数页页眉，居中，宋体，五号，论文中文题目。

阅后删除此文本框。

Abstract

Contents of the abstract. Times New Roman.

Key Words：Write Criterion; Typeset Format; Master’s Degree Paper

目 录

注：在该页面中点击鼠标右键，选择“更新域…”，在弹出窗口中选择“更新整个目录”，确定即可自动生成目录。标题“目录”，字体：黑体，字号：小三。章、节标题和页码，字体：宋体，字号：小四。阅后删除此文本框。

[摘 要 I](#_Toc216894797)

[Abstract II](#_Toc216894798)

[引 言 1](#_Toc216894799)

[1 正文格式说明 2](#_Toc216894800)

[1.1 论文格式基本要求 2](#_Toc216894801)

[1.2 论文页眉页脚的编排 2](#_Toc216894802)

[1.3 论文正文格式 3](#_Toc216894803)

[1.4 章节标题格式 3](#_Toc216894804)

[1.5 各章之间的分隔符设置 4](#_Toc216894805)

[1.6 正文中的编号 4](#_Toc216894806)

[2 图表及公式的格式说明 5](#_Toc216894807)

[2.1 图的格式说明 5](#_Toc216894808)

[2.1.1 图的格式示例 5](#_Toc216894809)

[2.1.2 图的格式描述 5](#_Toc216894810)

[2.2 表的格式说明 6](#_Toc216894811)

[2.2.1 表的格式示例 6](#_Toc216894812)

[2.2.2 表的格式描述 7](#_Toc216894813)

[2.3 公式的格式说明 8](#_Toc216894814)

[2.3.1 公式的格式示例 8](#_Toc216894815)

[2.3.2 公式的格式描述 8](#_Toc216894816)

[2.4 参考文献的格式说明 8](#_Toc216894817)

[2.4.1 参考文献在正文中引用的示例 8](#_Toc216894818)

[2.4.2 参考文献在正文中引用的书写格式 8](#_Toc216894819)

[2.4.3 参考文献的书写格式 9](#_Toc216894820)

[2.4.4 参考文献的书写格式示例 9](#_Toc216894821)

[2.5 量和单位的使用 10](#_Toc216894822)

[2.5.1 使用方法 10](#_Toc216894823)

[2.5.2 中华人民共和国法定计量单位 10](#_Toc216894824)

[2.6 规范表达注意事项 13](#_Toc216894825)

[2.6.1 名词术语 13](#_Toc216894826)

[2.6.2 数字 13](#_Toc216894827)

[2.6.3 外文字母 13](#_Toc216894828)

[2.6.4 量和单位 14](#_Toc216894829)

[2.6.5 标点符号 14](#_Toc216894830)

[3 打印说明 15](#_Toc216894831)

[3.1 封页 15](#_Toc216894832)

[3.1.1 封皮 15](#_Toc216894833)

[3.1.2 封一 15](#_Toc216894834)

[3.1.3 封二 15](#_Toc216894835)

[3.2 中英文摘要 15](#_Toc216894836)

[3.2.1 中文摘要 15](#_Toc216894837)

[3.2.2 英文摘要 15](#_Toc216894838)

[3.3 目录 15](#_Toc216894839)

[3.4 正文 15](#_Toc216894840)

[3.4.1 正文 15](#_Toc216894841)

[3.4.2 授权书 15](#_Toc216894842)

[4 第四章题目（黑体，小三，1.5倍行距，段后1行） 16](#_Toc216894843)

[4.1 第一节题目（黑体，四号，1.5倍行距，段前0.5行） 16](#_Toc216894844)

[4.1.1 第一节一级题目（黑体，小四，1.5倍行距，段前0.5行） 16](#_Toc216894845)

[4.2 第二节题目 16](#_Toc216894846)

[4.2.1 第二节一级题目 16](#_Toc216894847)

[结 论 17](#_Toc216894848)

[参 考 文 献 18](#_Toc216894849)

[附录A 附录内容名称 21](#_Toc216894850)

[攻读硕士学位期间发表学术论文情况 22](#_Toc216894851)

[致 谢 23](#_Toc216894852)

[大连理工大学学位论文版权使用授权书 24](#_Toc216894853)

引 言

从引言开始，是正文的起始页，页码从1开始编排。

引言包含的内容：说明论文的主题和选题的范围；对本论文研究主要范围内已有文献的评述；说明本论文所要解决的问题。

注意不要与摘要内容雷同。

建议与相关历史回顾、前人工作的文献评论、理论分析等相结合，如果引言部分省略，该部分内容在正文中单独成章，标题改为绪论，用足够的文字叙述。

注意：是否如实引用前人结果反映的是学术道德问题，应明确写出同行相近的和已取得的成果，避免抄袭之嫌。

书写格式说明：

标题“引言”选用模板中的样式所定义的“引言”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

引言正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，宋体，小四，多倍行距 1.25，段前、段后均为0行，取消网格对齐选项。

注：页码，居中，底部，宋体，小五，正文起始页页码为1。

阅后删除此文本框。

1 绪论

## 研究背景

### 1.1.1 云计算

云计算是一种基于互联网的计算模型，它将计算处理资源及相关数据按需提供给其他设备。云计算[1]的出现与发展使得用户可以随时随地动态地以最小的管理成本获取相关计算资源，如计算机网络、存储、服务等。数据中心及其相关软件硬件称之为云(cloud)。目前国内很多公司也相继推出了云服务，如七牛云存储、百度云网盘等。按照服务的不同，广义上可以把云计算分为软件即服务(Software as a Service, SaaS)、平台即服务(Platform as a Service, PaaS)、基础设施即服务(Infrastructure as a Service)。图1.1展示了云服务提供商与云服务消费者的关系。

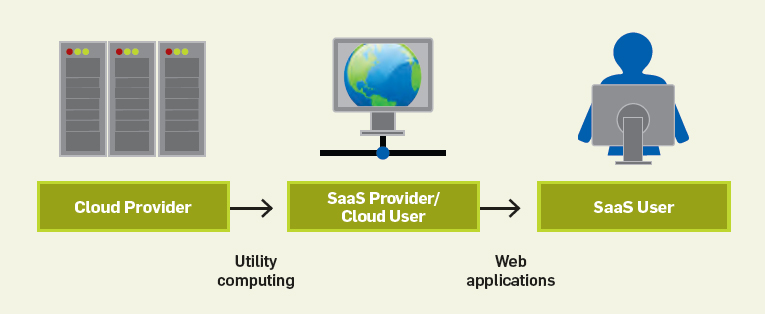


图1.1 云服务提供商与消费者的关系

Fig. 1.1 Relationship between cloud service providers and its consumers

现如今，通过互联网获取信息、知识已变得稀松平常，而且无需了解其底层原理。而云计算更是该模式的一种延伸[2]。云计算已经成为一种流行的资源提供与获取方式。云服务提供商根据其提供的云服务质量(Quality of Service, QoS)向消费者收费；消费者如企业为了寻求降低或在一定程度上避免成本，通过各种各样可能的形式使用云服务。现有的云服务使用方式灵活多样，如可以使用云服务(如百度云)进行数据存储，也可以将自己的任务通过互联网提交到远程服务商进行处理并等待结果的返回。两种方式共同的优点是，不再需要大量的大型存储设备。

云服务商面临的用户群体庞大[3-4]，因而如何为用户提供高效得服务就是云计算中一个重要的问题。而其中一个核心问题就是如何调度云服务用户提交的任务。云服务提供商在大型服务器上部署多种服务[5] ，根据各个服务的服务质量（quality of service, QoS）属性指定收费标准。图1.2展示了云平台的物理架构。用户向服务商提交的工作流由这些服务完成，每个工作流中包含多个任务，每个任务可以由若干个服务完成。



图1.2 云平台的物理架构

Fig. 1.2 The physical architecture of cloud platform

云服务提供商为了实现用户的按需请求服务，必然要显著地冗余配置其基础设施并相应地为低利用率的资源支付高昂的运行成本，或者是按比例拒绝一部分用户的任务请求。前者会为云服务提供商带来额外的不合理的成本，而后者无疑会降低用户体验并且某种意义上讲这种服务也就不再是按需请求的了[6]。而从云服务消费者角度来看，并非所有用户都要求完全意义上的按需云服务，甚至许多用户提交的任务在设计之初就设计为允许中断的可分割的任务。一些系统如SETI@HOME[7]被设计为可以利用空闲的资源，同时也可以被强占。这样设计的好处是，可以在服务中断时可以从故障中恢复。因而，云服务商采取怎样的策略或是算法处理用户提交的任务就变得尤为重要。通常，云服务提供商为了高效地调度用户的任务，会根据具体的调度目标采取不同的调度策略，如最低执行开销（花费）、最低执行时间、负载均衡、公平调度等。一个合理而高效的调度策略应该综合考虑任务的完成时间、费用、可靠性。作业调度或者说任务调度一直是云计算中的一个核心问题[8]。

### 1.1.2 异构平台

异构平台由具有不同计算能力的电脑资源组成[9]。由于异构平台计算资源间的异构性，目前提高其计算性能的方法仍旧主要是提高计算资源的数目及其计算能力。在计算资源的数目得到提升时，多核的异构平台还可以通过整合专用处理能力来处理特定任务来获得性能。同时，异构平台还具有综合利用多种处理器（特别是CPU与GPU）的能力。通常意义下，以3D图像渲染能力而闻名的GPU在处理大数据集的计算密集型数学运算方面也表现出众；同时CPU可以继续运行操作系统以及执行传统意义上的。异构平台系统添加而随着异构平台内部互相联通的计算资源数量逐渐增加，对合理、高效的调度策略的需求也日益提高。

### 1.1.2 工作流

工作流（Workflow）最早被商业领域广泛使用[10]。这种意义下的工作流是由一系列可重复的、经过仔细安排的商业活动组成。而这些商业活动会经过一组系统的处理流程，如变换材料、提供服务或者是处理信息。也可以把工作流描述为一个人或者是一个团队的一系列系统化的操作。这种把一个具体的任务划分为一系列具有先后顺序的活动可以明显地提高工作效率，并且可以更好的管理整个工作的流程。上世纪九十年代随着个人计算机、笔记本的普及和网络技术的发展与成熟，工作流及其相关技术与概念已逐渐普及开来，不再局限于商业领域而逐渐进入金融业、银行业、软件工程以及科学实验等相关领域。

工作流管理系统（Workflow Management Systems）[11]最早被引入用来支持一般意义上的需要持久运行的商业过程及其工作流。工作流管理系统是一套完备的管理与支持工作流的软件系统。它将一系列流程及其内部的相关逻辑进行抽象，并根据某些规则使用使用计算机编程语言恰当表示并实现。它不仅可以执行与监管工作流的执行，还负责工作流各个环节的信息交互以保证群体成员之间的信息共享。图1.2展示了一个工作流及其相关角色。创建事项需由任务发起者进行，同时需要监察人员监察到期事项。

通常单个工作流可以使用DAG（directed acyclic graph）图来描述[12-13]。一个DAG图中每一个节点表示对应工作流中的一个工作或一个步骤；连接各个节点的有向边描述某种规则或是约束，并且可以在有向边上标注各种权值或权值对来描述相关属性或参数。DAG图的优势是可以清晰地展示出对应工作流的抽象逻辑，并且抽象直观，可以轻易地用其表达出业务过程。在使用DAG图来描述工作流后可以对工作流进行许多的研究，例如：如何更合理地安排步骤；如何制定相关步骤间的规则以便于节点间的通信或是交接等。其中一个核心问题是，如何合理配置资源使得DAG或者说其对应的工作流得以高效、合理的调度执行，也即是工作流的调度相关问题。



图1.2 工作流工作模式

Fig. 1.2 Workflow work mode

由于一个工作流内可能会有多组相关节点以及多组无关节点（即该组节点间不存在有向边的连接约束），这一特性可以用来将一个DAG图中的节点按照某种规则进行划分，然后在不同的资源上调度执行。而云计算平台具备资源异构性以及资源动态性，因此可以很好地应用于工作流调度。云服务一般由上千的计算资源组成，因此可以分别调度执行多个子任务以缩短整体调度的执行时间从而获得更好的用户体验。在调度过程中，可以对工作流进行划分，然后进行资源筛选，进而调度执行。因此，可以使用DAG图所表示的工作流研究相关调度问题。

## 1.2 研究内容及贡献

一律用阿拉伯数字连续编页码。页码应由引言首页开始，作为第1页。封一、封二

## 1.3 论文组织结构

2 DAG工作流的分类及相关调度算法

## 2.1 DAG工作流的分类

### 2.1.1 单DAG与多DAG

可以将工作流管理系统按照用户提交的任务是否需要多用户间协作或交互分为两种类型，MC类型以及MI类型[14]。MC类型的工作流管理系统中，多个用户提交的任务需要以协作的方式进行监控、调用执行、数据传递等；MI类型的工作流管理系统中多个用户提交的任务相互独立，只需要工作流管理系统进行宏观调度即可。按照需要调度的DAG数量可以将DAG划分为单DAG与多DAG两类[15-16]。

单DAG调度是在一组资源上单独调度某个用户提交的任务。但是多数情况下，一个任务需要多个用户进行协作，此时可以将多个用户的工作合理地合并为一个工作流并用DAG图进行描述，然后进入工作流管理系统进行调度。在调度到该单DAG时，整个工作流可以按3需占有所有资源，调度时按照各个任务间的依赖关系采取某种策略进行资源分配即可。常见的单DAG调度策略有表调度策略，基于分层的调度策略和基于遗传算法的调度策略等。

多DAG工作流[17]不仅要考虑单DAG调度中的问题，还要处理多个DAG之间的资源竞争、公平性调度等多方面的问题。针对不同类型的调度问题，对多DAG工作流的限制条件也不同。部分工作流管理系统需要综合考虑用户提交的多DAG工作流的截止期，以尽可能多地调度用户提交的任务为目标。换言之，调度的目标是针对各个用户提交的工作流，尽可能多的提高系统吞吐率。而从用户的角度考虑，通常情况下工作流执行时间越少，花费越少。同时，也需要相应的策略来确定多个工作流之间的调度优先级以保证调度的公平性。因此相较于单DAG工作流，多DAG工作流的调度策略需要对多个问题进行平衡。Henan Zhao等人[18]深入研究了多DAG工作流调度中的公平性问题，并提出了一种侧重公平性的调度策略以保证多个用户提交的工作流能得到相对公平的调度。

### 2.1.2 静态DAG与动态DAG

按照DAG的生成方式，可以将DAG工作流分为静态DAG和动态DAG[19-20]。通常意义下，静态DAG指的是在调度时，DAG的结构、每个DAG内所代表任务数量、任务间的约束规则和需要调度的DAG数量等信息都可以获得。这意味着，调度静态DAG的调度策略在分配资源、决定多DAG中DAG的调度优先级时可用条件更多，因此能给出局部较优的解。对于静态DAG，一般采用离线调度的方式，只需要根据DAG的具体信息，根据某种离线调度策略确定优先级后合理分配资源即可。

动态DAG则包含两层意思。其一是指对于单个的DAG，它的相关信息如内部任务数量、任务间的约束规则等信息可能是无法获得的，或者有可能做出改变；其二是指对于一组动态DAG，有可能在某些时间点会有新的DAG到达，也有可能用户在某一时刻撤销所提交的任务。对于后者，如何合理地安排多个DAG间的调度优先级时一个调度策略的核心。针对动态DAG的调度策略称为在线调度，动态DAG中的各种不确定性使得在线调度策略相对更加复杂。

## 2.2 相关DAG调度算法研究

### 2.2.1 表调度算法与分层算法

表调度算法是最经典的DAG调度算法[21-22]。表调度算法可以作用于静态DAG，通常只有两个步骤：先根据给定DAG中的所有任务的关系，按照前后依赖关系并结合某种策略决定任务间的优先级并构造出一个调度列表；然后为优先级最高的任务分配能够使它最快完成的资源并调度执行，同时将该任务从列表中移除。通过循环上述两个步骤即可完成对给定DAG的调度。上述表调度算法是在调度之初就根据相应的条件确定了DAG内部所有任务的优先级，并且在调度过程中不做出改变，因此该算法也成为静态表调度算法。图2.1展示了表调度算法的一般流程。相对于静态表调度算法，还有动态表调度算法。与静态表调度算法不同的是，动态表调度算法会在执行完每一个任务后根据综合考虑当前计算资源可用情况以及后续任务的依赖关系重新决定部分任务的优先级，并根据新计算出的优先级将调度列表重新排列。因此，动态表调度算法比静态表调度算法多一个步骤。

有诸多学者对表调度算法进行了研究。[H. Topcuoglu](http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?searchWithin=%22Authors%22:.QT.H.%20Topcuoglu.QT.&newsearch=true)等人[23]提出的HEFT算法是十分著名的调度算法，其后又有诸多研究者根据不同的应用场景对其进行了性能优化。HEFT算法综合考虑一个任务的平均计算开销和平均通信开销然后决定总体的调度顺序，即优先级序列。由于HEFT算法的调度结果相对较好加之其算法复杂度仅在DAG内部任务数量的平方数量级，HEFT算法被广泛应用在实际调度中。Guan W等人[24]在2016年提出的HSIP（Heterogeneous Scheduling with Improved Task Priority，HSIP）算法是HEFT算法的一种优化。不用于HEFT的是，HSIP根据目前异构计算的近况，创造性地提出了一种针对异构计算平台异构性的改进，并给出了相应的数学公式描述及改进算法。HSIP算法在此仅做简单介绍，由于后续章节与该算法有关，故该算法的详细介绍放在随后的章节。



图2.1 表调度算法流程图

Fig. 2.1 Flow chart of list scheduling algorithm

分层算法基于表调度算法，是对其的一种优化。分层算法的基本思想是，将DAG内的任务根据某种策略进行分层，然后在同层内进行局部时间分配以求得局部最优解。常见的分层策略有正向分层和逆向分层[25]。 分层算法用于具有截止的工作流优化问题，将全局的时间分配问题转化为局部优化，并规定同层的任务具有相同的开始时间与截止时间。由于目前云服务都基于时间收费，并且计算速度越快的资源或物理机单位时间的价格越高。将DAG进行分层的目的是，在同一层内，在保证该层截止期的条件下尽量将任务分配给计算速度相对慢的物理机以降低费用。逐层调度下去不仅可以保证DAG能够再其截止期前完成调度，可以充分利用时间窗口优化费用。苑迎春[25]等人提出截止期约束的逆向分层算法（Deadline Bottom Level, DBL）。该算法将DAG的截止期转化为可变的时间窗口以进一步优化费用，并规定同层任务的开始时间由其上一层任务决定。刘灿灿等人[26-27]考察工作流的时序特征，并在分层调度过程中收集“时间碎片”以进一步优化费用，并在此基础上提出基于时序一致的截止期约束逆向分层算法，即TCDBL算法。

### 2.2.2 多DAG调度算法

多DAG调度算法可根据所调度的DAG特性分为静态调度算法和动态调度算法。异构系统中多DAG调度管理系统的模型如图2.2所示。云服务提供商会同时为多个租户提供软件服务，以利用规模经济效应，通过在租户间共享人力、设备等资源来降低成本、提高收益[28]。而这种多租户运营模式必然会导致多个租户之间的资源竞争或抢占。考虑到多DAG调度的复杂性，诸多研究者对此进行了研究并针对不同的场景提出了诸多调度策略。

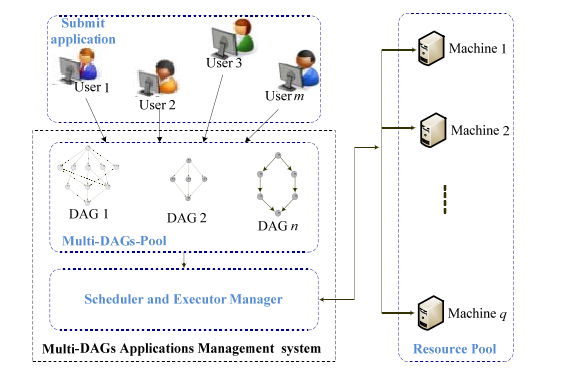


图2.2 异构系统中多DAG调度管理系统模型

Fig. 2.2 The model of scheduling multi-DAGs in heterogeneous systems

针对多DAG的调度，考虑到多个租户或者说多个DAG之间的调度公平性，由于调度目标和调度平台的复杂性，导致多DAG调度问题比单DAG调度问题更加复杂，尤其是多个DAG之间的调度优先级问题。图2.3展示了具有多优先级的多DAG调度模型。Henan Zhao等人[18]提出一种调度将一组静态DAG在一个异构系统中进行公平调度的算法：Fairness算法。该策略给出了一种量化一组DAG中每个DAG滞后程度的方法，在调度过程不断更新所有DAG的滞后程度（*slowdown*），并在调度完成一个任务后为滞后程度最高的任务分配计算资源以进入调度。该算法能够在一定程度上解决异构系统中多个DAG调度中的公平性问题。在此之后有诸多研究者对其进行了优化。由于Fairness算法只能调度静态多DAG，无法适用于现今的诸多调度系统，田国忠等人[29]在Fairness算法的基础上，提出E-Fairness算法。E-Fairness算法的主要改进在于，针对动态DAG，通过修改了计算每个DAG的滞后程度来修改优先级计算方式，使得新到达的DAG能够进入系统并加入调度。E-Fairness算法的改进主要以下几个方面：其一是当有DAG新到达时，根据其到达时间计算优先级，然后撤销系统中所有优先级低于该DAG中的所有任务以便与新到达的DAG一同调度；其二是新到达的DAG中优先级最高的任务可以得到一次调度机会，然后计算其相对滞后程度并决定该DAG的调度优先级，与其他DAG一同参与调度。

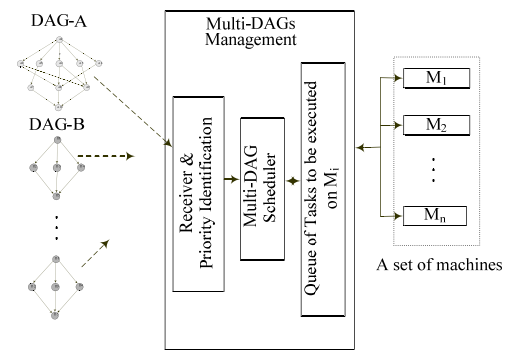


图 2.3 多优先级的多 DAG 调度模型

Fig.2.3 Scheduling model for Multi-DAGs with multiple priorities

Chih-Chiang Hsu[30]提出一种新的调度混合并行工作流的在线工作流管理系统OWM（Online Workflow Management）。该管理系统在调度工作流时主要有4个步骤：首先根据所有DAG的关键路径长度进行排序，然后不断地从中选取任务进入等待序列直到有未准备好的任务；然后，如果需要调度的任务均来自同一DAG，则对其进行降序排列，否则进行升序排列；最后按照RANK\_HYBD[31]算法执行调度。田国忠等人[32]提出了一种具有多优先级的多DAG混合调度策略MMHS（(hybrid scheduling strategy for multiple DAGs workflow with multiple priorities, MMHS）。MMHS调度策略的主体基于两部分，上述的E-Fairness算法以及文献[32]中提出的多DAG的Backfill算法。其中，多DAG的Backfill算法的主要思想是，由于高优先级的DAG可以中断相对低优先级的DAG的执行，因此公平性的比较不应该比较不同优先级之间的DAG；当新到达的DAG优先级较高时，采用抢占式的方式中断比它优先级低的DAG，然后按照HEFT算法执行其内部的任务。而MMHS调度策略根据不同的场景选用两种多DAG调度策略，而E-Fairness和Backfill都使用经典的HEFT算法进行单个DAG内部所有任务的调度。当有新到达的DAG时，先根据HEFT算法计算出该DAG内部所有任务的向上权值Rank，然后计算该DAG的优先级。当其优先级与目前系统中正在调度的DAG相同时，根据E-Fairness算法调度这两个优先级相同的DAG；若大于，则撤销其他任务，根据HEFT算法分配资源并调度执行新到达的DAG；若小于则根据Backfill算法处理该组DAG的调度顺序问题。

## 2.3 DAG工作流优化模型

基于DAG的工作流调度模型一般由两种优化目标：调度时间和调度费用。两者是互相矛盾的，调度时间短意味着需要使用相对计算速度快的物理机。而基于费用优化时间的调度策略，通常是用户给定调度成本，云服务提供商基于成本给出最快捷的调度方案，即成本约束下的工作流的时间优化问题。

另一种是用户在提交任务时，给定一个截止期，以费用最小为调度目标。这种类型的调度一般要求用户给定的截止期是合理的。调度策略通过合理地选择相对廉价的计算资源以降低费用，即截止期约束下的费用优化问题。针对这一问题诸多研究者进行了研究。本文之前章节所述的算法中，有很多都是处理截止期约束下的费用优化问题，如DBL、TCDBL等。然而，这些分层算法都忽视了一个重点因素：通信开销。由于云环境的特性，各个物理机之间的通信开销无法忽视。因此上述算法都无法处理真实云环境中的调度问题。

除了上述两种针对性的调度算法之外，还有一些多维优化算法。这种调度策略往往是在时间与费用之间找一个合理的平衡点。著名的有基于分层算法的BLSuff、BLMax等。这两种算法都是对DAG进行分层，并且基于优先级因子，在调度一层任务前综合衡量这一层任务的特点以及时间窗口，以满足用户调度目标为目的。然而，这些算法与DBL、DTL等类似，都忽视了通信开销而无法应用于真实云环境中的调度问题。

3 DAG带通信开销的工作流优化模型简介

## 3.1 DAG-工作流相关概念

### 3.1.1 DAG相关的基本定义

本课题组提出了一种通信感知的工作流费用优化模型，CA-DAG[32]。该模型同样使用DAG来描述工作流，并在此基础上加入了通信开销，来描述云环境中多个物理机之间进行数据传递的费用。在此之前，多个物理机之间的通信开销通常使用静态方式进行描述，即对于*q*个物理机，使用一个*q×q*的一个矩阵*B*来表述每个物理机间的通信开销，使用一个向量*L*表述所有物理机的数据传输启动时间。可以看出，这种方式需要在调度前确定所有物理机之间的通信开销。一个具有*v*个任务的DAG在一组具有*q*个物理机的集合*Q*上进行调度时，假设所有任务在所有物理机上执行的运行时间已知，并使用一个*v×q*的矩阵*W*表述。任务在所有物理机上的平均执行时间可以用公式3.1描述：

（3.1）

DAG内部两个任务、调度时之间的平均数据传输时间为，其中为所有物理机的平均数据传输启动时间，为所有物理机之间的数据传递时间。由该定义可以看出，传统意义上的模型只考虑了不同物理机间数据传递的时间开销，而忽略了该过程中的费用开销，包括传输数据所需的费用以及控制这一流程所需的费用。基于这一点，CA-DAG将不同物理机间的通信开销加入模型，该模型可以用DAG图描述，图3.1和表3.1给出了一个CA-DAG的例子。一般情况下，一个DAG都分别只有一个入口节点和一个出口节点（如果没有则可以相应地选择加入虚拟头结点或虚拟尾结点）。*V*代表所有任务的集合。图中有向边的集合描述了所有任务之间的关系。*E*中的边表示一条由任务指向任务的有向边。此时称为的直接前驱结点，为的直接后继结点。

表3.1 图3.1中各活动的候选服务集合

Tab. 3.1 The Services Set of the Activities in Fig.3.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Task |  |  |
| 1 | {<3,9,2>,<4,6,3>,<8,2,1>} | 3 |
| 2 | {<4,8,3>,<7,5,1>} | 2 |
| 3 | {<2,9,1>,<4,7,2>,<6,5,4>,<9,2,3>} | 4 |
| 4 | {<2,7,1>,<3,5,4>,<5,3,2>} | 3 |
| 5 | {<3,8,4>,<4,7,1>,<9,2,2>} | 3 |
| 6 | {<4,7,3>,<6,5,1>,<7,3,4>} | 3 |



图3.1 工作流实例

Fig.3.1 The instance of workflow(CA-DAG)

### 3.1.2 公平性算法Fairness

在此之前，常见的多DAG调度算法是DAG合成算法。DAG合成算法首先构造一个虚拟的头结点以及尾结点，然后将需要调度所有的DAG连接到虚拟的头结点，使得所有DAG都是该虚拟头结点的直接后继结点。然后针对不同的调度目标使用相应的调度策略，将多DAG调度问题转化为单DAG调度问题。然后由于各个DAG之间的结构存在很大差异，使用单DAG调度算法难免会引起公平性问题，导致某个或某些DAG等待太久或者产生“饿死”现象。Henan Zhao等人[18]提出的Fairness算法在一定程度上解决了异构系统中多DAG调度的公平性，并提出了一系列度量调度算法公平与否的标准。Fairness算法中相关概念介绍如下

## 3.2 调度模型

### 3.2.1 中文摘要

单面打印。

### 3.2.2 英文摘要

如果是一页，单面打印；否则双面打印。

## 3.3 目录

如果是一页，单面打印；如果两页，双面打印；如果三页，第一、二页双面打印，第三页单面打印。

## 3.4 正文

### 3.4.1 正文

正文从引言开始到致谢结束，双面打印。

### 3.4.2 授权书

单面打印。

4 第四章题目（黑体，小三，1.5倍行距，段后1行）

## 4.1 第一节题目（黑体，四号，1.5倍行距，段前0.5行）

### 4.1.1 第一节一级题目（黑体，小四，1.5倍行距，段前0.5行）

## 4.2 第二节题目

### 4.2.1 第二节一级题目

结 论

结论是理论分析和实验结果的逻辑发展，是整篇论文的归宿。结论是在理论分析、试验结果的基础上，经过分析、推理、判断、归纳的过程而形成的总观点。结论必须完整、准确、鲜明、并突出与前人不同的新见解。

书写格式说明：

标题“结论”选用模板中的样式所定义的“结论”，或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

结论正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行。

参 考 文 献

标题“参考文献”不可省略，选用模板中的样式所定义的“参考文献”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

参考文献内容设置成字体：宋体，居中，字号：五号，多倍行距1.25，段前、段后均为0行，取消网格对齐选项。

参考文献的著录，按论文中引用顺序排列。

参考文献数量不少于20篇，其中期刊不少于10篇，并且包含一定数量的外文期刊。

文献类型标志参考国家标准 GB/T 7714－2005，如下表：

|  |  |
| --- | --- |
| 文献类型 | 标志代码 |
| 普通图书 | M |
| 会议录 | C |
| 汇编 | G |
| 报纸 | N |
| 期刊 | J |
| 学位论文 | D |
| 报告 | R |
| 标准 | S |
| 专利 | P |
| 数据库 | DB |
| 计算机程序 | CP |
| 电子公告 | EB |

按照引用的文献类型不同使用不同的方法，示例如下：

1 普通图书

[1] 广西壮族自治区林业厅.广西自然保护区[M].北京:中国林业出版社,1993.

[2] 蒋有绪,郭泉水,马娟,等.中国森林群落分类及其群落学特征[M].北京:科学出版社,1998.

[3] International Federation of library Association and Institutions. Names of persons: national usages for entry in catalogues [M].3rd ed. London: IFLA International office for UBC, 1977.

2 期刊中析出的文献

[1] 李炳穆.理想的图书馆员和信息专家的素质与形象[J].图书情报工作,2000(2):5-8.

[2] 陶仁骥.密码学与数学[J].自然杂志,1984,7(7):527.

[3] 亚洲地质图编目组. 亚洲地层与地质历史概述[J].地质学报,1978,3:104-208.

[4] DES MARAIS D J, STRAUSS H , SUMMONS R E, et al. Carbon isotope evidence for the stepwise oxidation of the Proterozoic environment [J].Nature ,1992,359:605-609.

3 论文集、会议录

[1] 中国力学学会.第3届全国实验流体力学学术会议论文集[C].天津:[出版者不祥],1990.

[2] ROSENTHALL E M. Proceedings of the Fifth Canadian Mathematical Congress, University of Montreal, 1961[C]. Toronto: University of Toronto Press,1963.

4 专著中析出的文献

[1] 国家标准局信息分类编码研究所.GB/T 2659-1986 世界各国和地区名称代码[S]//全国文献工作标准化技术委员会.文献工作国家标准汇编:3.北京:中国标准出版社,1988:59-92.

[2] 韩吉人.论职工教育的特点[G]//中国职工教育研究会.职工教育研究论文集.北京:人民教育出版社,1985:90-99.

[3] FOURNEY M E. Advances in holographic photoelasticity [C]//American Society of Mechanical Engineers．Applied Mechanics Division．Symposium on Applications of Holography in Mechanics, August 23-25,1971,University of Southern California, Los Angeles, California. New York：ASME,c1971:17-38.

[4] MARTIN G. Control of electronic resources in Australia[M]//PATTLE L W , COX B J. Electronic resources: selection and bibliographic control. New York : The Haworth Press,1966:85-96.

5 学位论文

[1] 张志祥. 间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院,1998.

[2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ．of California ,1965.

6 专利文献

[1] 刘加林. 多功能一次性压舌板:中国,92214985.2[P].1993,04,14.

[2] 河北绿洲生态环境科技有限公司.一种荒漠化地区生态植被综合培育种植方法:中国,01129210.5[P/OL].2001-10-24[2002-05-28].http://211.152.9.47/sipoasp/zlijs/hyjs-yx-new.asp?recid=01129210.5& leixin.

[3] KOSEKI A ,MOMOSE H, KAWAHITO M, et al .Compiler :US,828402[P/OL]. 2002-05-25[2002-02-28]. http://FF&p＝1 & u =netahtml/PTO/search-bool.html & r = 5 & f=G& l = 50& col = AND & d =PG01 & sl =IBM .AS. & 0S =AN/IBM & RS =AN/IBM.

7 科技报告

[1] U．S．Department of Transportation Federal Highway Administration. Guidelines for handling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U.S. Department of Commerce National Information Service,1990.

[2] World Health Organization. Factors regulating the immune response: report of WHO Scientific Group[R]. Geneva: WHO, 1970.

8 报纸中析出文献

[1] 丁文祥. 数字革命与竞争国际化[N].中国青年报,2000 ,11,20(15).

[2] 张田勤. 罪犯DNA库与生命伦理学计划[N].大众科技报,2000,11,12(7).

9 电子文献（包括专著或连续出版物中析出的电子文献）

[1] 江向东.互联网环境下的信息处理与图书管理系统解决方案[J/OL].情报学报, 1999, 18(2):4[2000-01-18]. http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/qbxb/qbxb99/qbxb990203.

[2] 萧钰.出版业信息化迈入快车道 [EB/OL]. (2001,12,19)[2002,04,15]. http://www.creader.com/news/20011219/200112190019.html.

[3] METCALF S W. The Tort Hall air emission study[C/OL] //The International Congress on Hazardous Waste, Atlanta Marriott Marquis Hotel, Atlanta, Georgia, June 5-8, 1995: impact on human and ecological health [1998,09,22]. http://atsdrl.atsdr.cdc.gov:8080/cong95.html.

[4] TURCOTTE D L. Fractals and chaos in geology and geophysics[M/OL]. Mew York: Cambridge University Press, 1992[1998,09,23]. http://www.seg.org/reviews/mccorm30.html.

附录A 附录内容名称

以下内容可放在附录之内：

（1） 正文内过于冗长的公式推导；

（2） 方便他人阅读所需的辅助性数学工具或表格；

（3） 重复性数据和图表；

（4） 论文使用的主要符号的意义和单位；

（5） 程序说明和程序全文。

这部分内容可省略。如果省略，删掉此页。

书写格式说明：

标题“附录A 附录内容名称”选用模板中的样式所定义的“附录”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

附录正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行。

攻读硕士学位期间发表学术论文情况

仅列出硕士生攻读硕士学位期间发表与学位论文有关的学术论文，并注明属于学位论文内容的部分（章节），所有作者及其顺序、所发表的刊物名称（包括主办单位、是否被SCI、EI检索期刊）、时间、期号与页码。其他时间或与学位论文内容（章节）无关的论文不得列出。

书写格式说明：

标题“攻读硕士学位期间发表学术论文情况”选用模板中的样式所定义的“发表学术论文情况”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

“攻读硕士学位期间发表学术论文情况”正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行。

例：

1 论文题目.**作者1**，作者2. 中国科学，2004年，卷（期）：起始页码-终止页码. 主办单位：中国科学院。SCI检索期刊，本文SCI检索号：123DX。（本硕士学位论文第一章）

注：学位论文作者，加黑。阅后删除此文本框。

致 谢

学位论文中不得书写与论文工作无关的人和事，对导师的致谢要实事求是。

一同工作的同志对本研究所做的贡献应在论文中做明确的说明并表示谢意。

这部分内容不可省略。

书写格式说明：

标题“致谢”选用模板中的样式所定义的“致谢”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

致谢正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行。

大连理工大学学位论文版权使用授权书

注：页眉，居中，宋体，五号，统招、单考硕士、高校教师在职申请硕士学位、同等学历硕士填写内容为“大连理工大学硕士学位论文”；工程硕士、MBA、EMBA、MPA填写内容为“大连理工大学专业学位硕士学位论文”。

阅后删除此文本框。

注：此页为封底。

阅后删除此文本框。

本人完全了解学校有关学位论文知识产权的规定，在校攻读学位期间论文工作的知识产权属于大连理工大学，允许论文被查阅和借阅。学校有权保留论文并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印、或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

学位论文题目：

作 者 签 名 ： 日期： 年 月 日

导 师 签 名 ： 日期： 年 月 日

注：此页内容不需要任何改修，手写签名和日期即可。

阅后删除此文本框。