

学校编码: 10384

分类号密级

学号: 23020121152948

UDC

廈門大學

硕士学位论文

面向总体运行时间与能耗的多目标 workflow 调度算法研究

**Explorations in Makespan and Energy-
Consumption-Oriented Multi-Objective Workflow
Scheduling Algorithms**

周鹏吉

指导教师姓名: 郑炜讲师

专业名称: 计算机应用技术

论文提交日期: 2015 年 4 月

论文答辩时间: 2015 年 5 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席:

评阅人:

2015 年 5 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

在传统的多处理器调度系统当中,应用程序所追求的主要目标是该应用程序的完成时间尽可能的少。然而近些年来,应用程序在执行过程中所消耗的能量越来越引起人们的广泛关注。因此,在现代多处理器调度系统当中,以应用程序的完成时间和能量消耗为目标多目标 workflow 调度问题就成为调度领域的热点前沿问题。动态电压缩放技术 (Dynamic Voltage Scaling, DVS) 作为人们研究调度算法的有效技术之一,更是受到人们越来越多的关注。DVS 技术支持动态调节处理器的电压等级值,这就为在应用程序的完成时间和能量消耗之间取得较好的平衡提供了技术支持。因此,在本课题中,我们所研究的主要问题:如何将具有子任务间数据依赖关系限制的工作流映射到数量有限的异构的具有 DVS 技术的处理器上,同时以该工作流的运行时间和能量消耗尽可能的少为目标。本课题的研究成果主要有以下两个方面:

- 1、针对具有实时性要求的多处理器调度系统,我们提出一种全新的基于启发式的多目标 workflow 调度算法 (enhanced energy conscious heuristic, EECS)。该算法不仅具有较好的调度效果 (较少的完成时间和能量消耗),而且具有较快的调度时间。通过仿真实验表明,EECS 算法在满足用户的实时性要求的前提下,比现有算法具有更优的运行时间和能量消耗。

- 2、由于粒子群算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 本身的简单性和较低的计算复杂性,PSO 算法被广泛的应用于解决各种组合优化问题。因此,在本课题中,我们尝试着用 PSO 算法解决面向运行时间和能耗的多目标 workflow 调度问题,从而形成一种全新的基于粒子群的多目标 workflow 调度算法 (PSO-heuristic)。通过仿真实验表明,PSO-heuristic 比现有的混合遗传调度算法在工作流的完成时间和能量消耗上都具有较大的优化。

关键词: 双目标优化; 调度; 多处理器系统; 能量有效性;

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

Energy consumption has recently become a major concern to multiprocessor systems, of which the primary performance goal has traditionally been reducing execution time of applications. In the context of scheduling, there have been increasing research interests on algorithms using Dynamic Voltage Scaling (DVS), which allows processors to operate at lower voltage supply levels at the expense of sacrificing processing speed, to acquire a satisfactory trade-off between quality of schedule and energy consumption. The problem considered in this article is to find a schedule for a workflow, which is normally a precedence constrained application, on a bounded number of heterogeneous DVS-enabled processors, so as to minimize both makespan (overall execution time of the application) and energy consumption. There are mainly two contributions in this article:

- 1、 For multiprocessor scheduling system with real-time requirements, this article presents a new bi-objective heuristic with the objectives to simultaneously provide effective DVS-based DAG scheduling and fast scheduling time (named by enhanced energy conscious heuristic, denoted by EECS). Compared with the pro-proposed heuristic, the workflow scheduling of our heuristic is not only much more effective in makespan and energy consumption, but also can satisfy the real-time requirements.

- 2、 Although Particle Swarm Optimization algorithm (denoted by PSO) has been applied to a wide range of applications due to its simplicity and effectiveness with low computational cost. To the best of our knowledge, there is no previous study which attempts to address energy-efficient workflow scheduling by PSO. In this article, we design a new scheduling heuristic that uses PSO to minimize both makespan and energy consumption (denoted by PSO-heuristic). Compared with the pro-proposed heuristic, the workflow scheduling of our heuristic is much more effective in makespan and energy consumption.

Key Words: Bi-objective Optimization; Scheduling; Multiprocessor Systems;
Energy-efficient;

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

第一章 绪论	1
1.1 课题背景和研究意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.3 本论文研究工作.....	4
1.4 本论文章节安排.....	5
第二章 问题描述	6
2.1 应用模型.....	6
2.1.1 DAG 图描述.....	6
2.1.2 workflow 描述.....	8
2.1.2.1 随机 DAG 图.....	8
2.1.2.2 Laplace 图.....	9
2.1.2.3 LIGO 图.....	10
2.2 系统模型.....	10
2.3 能耗模型.....	11
2.4 调度模型.....	12
第三章 基于启发式的多目标 workflow 调度算法	13
3.1 研究背景.....	13
3.2 算法描述.....	14
3.2.1 计算向上等级优先值.....	15
3.2.2 初始调度.....	16
3.2.3 最终调度.....	20
3.3 实验结果与分析.....	21
3.3.1 实验环境.....	22
3.3.2 比较准则.....	24
3.3.3 实验结果.....	24

3.4 小结	30
第四章 基于粒子群的多目标 workflow 调度算法.....	32
4.1 研究背景.....	32
4.2 粒子群算法.....	34
4.3 算法描述.....	35
4.3.1 粒子群初始化.....	37
4.3.1.1 计算向上优先等级值.....	37
4.3.1.2 初始化粒子位置.....	37
4.3.1.3 初始化粒子速度.....	39
4.3.2 计算粒子适应值.....	39
4.3.3 选择最优粒子.....	42
4.3.4 更新粒子位置与速度.....	44
4.3.5 粒子群停止准则.....	46
4.4 实验结果与分析	47
4.4.1 实验环境.....	48
4.4.2 比较准则.....	49
4.4.3 实验结果.....	50
4.4 小结	56
第五章 总结与展望	57
5.1 总结	57
5.2 展望	58
参考文献	59
攻读硕士学位期间发表论文及科研情况	66
致谢.....	67

Content

Chapter1 Introduction.....	1
1.1Background and Significance of this Subject	1
1.2Research Status	2
1.3Main Work and Contributions	4
1.4 Arrangement of Chapters and Sections.....	5
Chapter2Problem Description	6
2.1 Application Model	6
2.1.1 DAG	6
2.1.2 Workflows	8
2.1.2.1 Random DAG.....	8
2.1.2.2 Laplace	9
2.1.2.3 LIGO.....	10
2.2 System Model.....	10
2.3 Energy Consumption Model.....	11
2.4 Scheduling Model.....	12
Chapter3Multi-objective Heuristic for Scheduling Workflow	13
3.1 Background	13
3.2 Methodogy.....	14
3.2.1 Bottoom-up Level.....	15
3.2.2 Initial Scheduling.....	16
3.2.3 Final Scheduling	20
3.3 Performance Evaluation.....	22
3.3.1 Experimental Setting.....	22
3.3.2 Comparison Metrics.....	24
3.3.3 Experimental Results.....	24

3.4 Summary	30
Chapter4 Multi-objective PSO Algorithm for Scheduling Workflow	32
4.1 Background	32
4.2 Particle Swarm Optimization	34
4.3 Methodology	35
4.3.1 Initialize Particle Set.....	37
4.3.1.1 Bottom-up Level.....	37
4.3.1.2 Initialize Position of Particle.....	37
4.3.1.3 Initialize Velocity of Particle.....	39
4.3.2 Calculate Fitness Value.....	39
4.3.3 Select the Best Particle	42
4.3.4 Update Position and Velocity.....	44
4.3.5 Stopping criterion	46
4.4 Performance Evaluation.....	47
4.4.1 Experimental Setting.....	48
4.4.2 Comparison Metrics.....	49
4.4.3 Experimental Results.....	50
4.4 Summary	56
Chapter5 Conclusions and Future Work.....	57
5.1 Conclusions	57
5.2 Future Work	58
References	59
Publications	66
Acknowledgement	67

第一章 绪论

1.1 课题背景和研究意义

在过去的十几年中,由于应用程序的计算量和数据量的急速增加,大量的科学研究^{[7][8]}需要在多处理器计算系统(如网格、云)中进行,因此,这样的多处理器计算系统被广泛的应用于工程、商业以及科学研究等领域。不难想象,这些由大量的计算设备、存储设备以及连接设备所构成的计算平台,必然消耗着巨大的能量,并且类似的计算平台在规模和数量上仍在快速增长。据统计^[9],仅在2011年,美国数据中心所消耗的能量已经超过1000亿千瓦,为此需要支付74亿美元的费用。在美国,每年由信息和通信设备所消耗的能量约占美国总能耗的8%,且在接下来的十年内,这一比例将会增加50%左右^[10]。同时,大量的能量消耗不仅使全球的能源危机雪上加霜,而且大量CO₂的释放,更是使全球的生态环境进一步恶化。

这些越来越严重的能耗问题,迫切要求人们寻求高能效的方法,以求节省多处理器计算系统所消耗的能量。然而,事实上,当前绝大多数计算平台的资源管理系统^{[11][12]}为了满足用户的需求,大都只追求计算平台的高性能、高吞吐率、高可靠性以及高可用性。这就导致这些计算平台大都缺少对能量消耗的有效管理。因此,能耗问题就成为一个十分重要且急需解决的问题。

硬件技术的最新研究成果在一定程度上解决了能耗问题,这些硬件技术包括动态电压缩放技术(DVS)、资源休眠、内存优化、固态硬盘以及节能电脑显示器等。同时,软件技术作为解决能耗问题不容忽视的有效方法之一,具有硬件技术不可替代的作用。对于多处理器计算平台而言,高效的调度算法作为一种软件技术,其节约能量的效果亦十分显著。

因此,在本课题中,我们主要研究基于动态电压缩放(Dynamic Voltage Scaling, denoted by DVS)技术的、面向总体完成时间和能量消耗的多目标 workflow 调度问题。DVS 技术作为有效解决多处理器计算平台能耗问题的有效方法之一,已经被广泛的用于科学研究^[13-16]。DVS 技术可以动态调整处理器的电压等级值和相应的

中央处理器（Central Processing Unit, denoted by CPU）的主频，其基本工作原理是在适当降低处理器电压，延长应用程序执行时间的情况下，减少执行应用程序所消耗的能量，反之亦然。这就为在应用程序的完成时间和能量消耗之间取得平衡提供了有效的技术支持。

由于我们的调度目标是 workflow 应用程序的完成时间（makespan）和能量消耗都尽可能的少，因此，在本课题中，我们所研究的 workflow 调度问题演化成双目标 workflow 调度问题。在本课题中，我们设定用有向无环图（directed acyclic graph, denoted by DAG）表示 workflow 应用程序，通过设计新颖高效的调度算法，将 workflow 中的作业分配到相应的具有 DVS 技术的异构的处理器上执行，同时要求执行应用程序总的完成时间和能量消耗都尽可能的少，以此来解决多处理器计算平台的高能耗问题。

1.2 国内外研究现状

到目前为止，对于调度系统而言，已经有大量的 DAG workflow 调度启发式算法被提出。这些启发式算法根据不同的原理进行设计。我们大约可以把它们分为以下几类：基于列表调度的算法^{[17-19][54-56]}（list-scheduling algorithm）、基于复制的算法^{[21-23][53]}（duplication-based algorithm）、基于集群的算法^{[24][25]}（clustering-based algorithm）、基于 workflow 调度^{[50][51]}（workflow-based scheduling）、指导随机搜索的方法^{[26][27][52]}（guided random search methods）等。

Topcuoglu^[20]等人提出的 HEFT 算法是一种基于静态优先级的列表调度算法。HEFT 算法将 DAG workflow 中的各个作业分配到数量固定的异构的处理器上，其所追求的目标是调度的完成时间尽可能的小。HEFT 算法的主要工作过程如下所示：首先，HEFT 算法计算 DAG workflow 中每个作业的向上等级优先值。然后，根据每个作业的向上等级优先值，进行非递增排序，从而得到作业调度列表。最后，对于作业列表中的每个作业，将该作业预分配到具有最小完成时间的处理器上。另外值得注意的是，当对每个作业进行预分配处理的时候，可以将该作业插入到该处理器之前已经分配的两个作业中间，但前提是该作业的插入，需要满足作业优先级约束。但是令人遗憾的是，通过上述对 HEFT 算法描述可知，该算法在调度

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.