

## 拟参与提名 2019 年度国家科学技术奖项目公示（三）

根据国家奖励办《关于 2019 年度国家科学技术奖提名工作的通知》要求，提名 2019 年度国家科学技术奖项目需要在项目主要完成人所在单位进行公示。现将我所拟参与湖南大学提名的 2019 年度国家科学技术奖项目进行公示，公示期：2019 年 1 月 11 日至 2019 年 1 月 17 日。任何单位和个人若对提名项目有异议，可在 2019 年 1 月 17 日前，以书面形式送交科研处，并提供相应佐证材料，签署真实姓名，注明联系方式，否则不予受理。

联系人及联系电话：吴金凤，62601116

中国科学院计算技术研究所

2019 年 1 月 11 日

### 拟参与提名 2019 年度国家科学技术奖项目公示材料

#### 一、项目名称

高效能异构并行调度关键技术及应用

## 二、提名者及提名意见

提名者：湖南省

提名意见：

针对我国高性能芯片、超级计算机与云计算领域中任务调度与资源管理等核心技术长期以来受制于西方发达国家的局面,完成人系统地提出了高效能异构并行随机任务调度理论与方法,研发了超级计算机大规模异构并行系统调度器、异构多核嵌入式SoC系统调度器以及新型云资源管理与调度系统.获授权发明专利39项,发表IEEE/ACM Transactions期刊论文110余篇。

大规模异构并行系统调度器已成功应用于天津、广州、深圳、济南、长沙和无锡六大国家超算中心主机与浪潮、曙光的高性能集群上,应用效率上提高了6%-10%.基于异构多核嵌入式优化调度技术的金融SoC芯片已在长城信息、证通电子生产的金融设备中大规模应用;新型云资源管理与调度系统为浪潮、曙光、东华软件、劲胜智能、华自科技等企业在智慧城市等行业解决方案提供了云基础设施,实现经济效益逾20亿元。

高性能计算已列入《国家中长期科技发展规划纲要》,是国家战略发展重要举措.项目组历经十余年艰苦努力,研发的面向领域的SoC设计方法、高并发云服务平台资源管理调度技术已分别通过教育部组织的科技成果鉴定,由宋君强院士组成的鉴定委员会认为其已达国际领先水平.成果先后获得湖南省科技进步一等奖和技术发明一等奖.陈国良、张尧学和王恩东等院士评价认为项目成果理论先进、技术可靠、应用及产业化情况良好,引领了高性能异构并行处理领域关键技术的进步,整体技术达到国际先进水平。

经审阅,符合提名条件,同意提名该项目为国家科学技术进步奖 二 等奖。

### 三、项目简介

我高效能异构并行调度是超级计算、高性能芯片以及云计算等多个领域中的共性核心技术。《国家中长期科技发展规划纲要》已将掌握高性能计算等核心技术,提高自主开发能力和整体技术水平列为国家战略发展的重要举措。CPU+GPU 或其它处理器的异构并行架构逐渐成为高性能计算系统的主要体系结构,异构并行调度技术是提高其计算系统效率,发挥资源聚合效能的关键。然而我国相关研究起步较晚,核心技术长期被发达国家垄断,在作业调度、资源管理、系统可靠性等关键领域均存在被“卡脖子”的巨大风险,亟需从基础理论到核心技术的自主创新,抢占新一轮国际竞争的制高点。项目历经十余年攻关,系统地提出了大规模异构环境下高效能并行调度的基础理论,研发了从超级计算机、高性能芯片到云计算资源池的系列任务调度器,形成了一批具有国际水平的技术成果,取得了显著的经济和社会效益。主要创新如下:

1、提出了高效能异构并行随机任务调度模型。率先发现并证明存在约束关系的任务间随机任务调度长度具有下界,解决了高性能计算多年来任务执行时间无法预测的难题。相对于以确定执行时间为依据的调度,可将系统的计算性能提升近 60%。

2、研制了超级计算机大规模异构并行系统调度器。能够针对作业的特性自适应选择合适的调度算法,不受限于超算系统异构结构;研制了面向特定应用的 CPU-GPU 协同优化调度算法,较国际领先的 GPU 制造商英伟达等解算库,平均效率提升 58%。

3、研发了资源受限条件下异构多核嵌入式 SoC 系统调度器。基于该调度技术,研制了面向金融终端的高性能 SoC 芯片。与普遍使用的 Maxim 芯片相比,实时响应性能提高了近 30%,为实现我国金融支付设备的安全自主可控提供了新的解决方案。

4、研发了分布式环境下新型云资源管理与调度系统。首次实现了高性能 GPU 资源的大规模虚拟化计算,攻克了长期以来超算领域和云计算领域资源管理与任务调度中计算资源过于单一化和独立化这一难关。基于此研发的高可扩展数据并行处理平台,较国际上领先的 Spark 等数据并行处理框架,在计算效率上提升了 2-3 倍。

大规模异构并行系统调度器已成功应用于天津、长沙、广州、深圳、无锡、济南等六大国家超级计算中心与浪潮、

曙光的高性能服务器集群,提高了其在大型工程仿真、天气预报等应用上的计算效率,节省了能耗;基于异构多核嵌入式优化调度技术的金融 SoC 芯片已在证通电子、长城金融的金融自助终端设备上大规模应用;新型云资源管理与调度技术应用于智慧城市、智慧医疗、智能制造、工业互联网等多个领域,为浪潮、曙光、东华软件、劲胜智能、华自科技等上市企业在以上行业的解决方案提供了高效、弹性的云计算资源池管理中间件,近三年新增经济效益逾 21 亿元。

项目共获授权发明专利 39 项,发表 IEEE/ACM Transactions 期刊论文 110 余篇.高性能金融 SOC 芯片、高并发云服务平台成果先后通过了教育部组织的成果鉴定.“金融 SOC 设计及其关键技术研究”获得 2013 年湖南省科技进步一等奖;“大规模异构并行系统高效调度关键技术及应用”获得 2017 年湖南省技术发明一等奖.陈国良、张尧学和王恩东等院士认为项目引领了异构并行计算关键技术的进步,整体达到国际先进水平.本项目对于提高我国超级计算机的应用水平,解决异构嵌入式系统的能效问题,以及为云计算和数据中心提供高效节能的资源管理都具有重要意义。

#### 四、客观评价

##### 1、 国内外相关技术的比较

(1) 高效能异构并行随机任务调度模型.较分布式异构环境下著名的 HEFT 任务调度算法,在可靠性、容错性、计算效率上分别提升了 21%、35%、63%。

(2) 超级计算机大规模异构并行系统调度器.与国际上普遍使用的 IBM LSF 商业调度器比较,在大规模线性方程组求解、矩阵向量乘、分子动力学模拟的 CPU-GPU 协同计算时间上能分别减少 9%、45%、83%.与 Lawrence Livermore 国家实验室研发的 SLURM 调度器相比较,计算时间分别减少 12%、6%、45%。

面向异构系统的准三对角线性系统新型解算器较国际领先的 GPU 制造商英伟达等解算库平均效率提升了 58%;其中 SpMV 在 GPU 上的并行效率比美国工程院院士 Jack Dongarra 团队的算法及 NVIDIA 公司的 CUDA 函数库 cuSparse 分别提高了 17.3%和 11.86%,较单一 GPU 平台的计算效率平均提高 58%.基因比对软件 MAFFT 的 FFT 计算模块和国际上最好的 Stasinski 算法相比,将计算量平均减少了约 5.3%。

(3) 资源受限条件下异构多核嵌入式 SoC 系统调度器. 较通用最小裕度、可达截止期最早等多核嵌入式系统调度技术相比,在 ParMiBench、ERCBench、EEMBC 等 benchmark 上的执行效率平均提升了 45%和 68%.与 Maxim 加密芯片相比,在大数模运算上提升了 75%的加密效率,在椭圆曲线倍点运算上提高了 30%的解密效率。

(4) 分布式环境下新型云资源管理与调度系统.与 Hadoop 数据并行处理框架相比,本系统在其上的应用可使得内部节点通信量上平均降低 45%,计算性能提高 15%.将本调度系统植入原生的 Spark 数据并行处理框架,新型云资源管理调度和配置技术的应用可使得其集群内部网络吞吐量、任务处理效率上的综合性能提升 3-5 倍。

## 2、 技术检测报告与项目验收结论

项目研制的“SC-Cloud 超算云资源软件平台”,湖南省软件测评中心进行了安全测试、部署测试、单元测试、功能测试、联调测试和性能测试.测试结论均为通过。

项目研制的“基于超级计算的工业设计资源中心技术开发与继承平台”,在湖南省软件测评中心进行了鉴定测试.测试结论均为通过。

## 3、 院士评价

中国科学院陈国良院士认为:项目在自主可控关键领域上取得技术突破,形成了具有自主知识产权的技术体系.所提出的高效能异构并行调度等理论方法与技术在国际上处于领先地位,提升了我国高性能计算在金融、工业等行业中的普及程度。

中国工程院张尧学院士认为:该项目中提出的随机任务调度等方法和模型理论体系完整,研发的金融SOC芯片、大规模异构并行系统调度器等引领了异构并行计算机系统中关键技术的进步,达到国际领先水平。

中国工程院王恩东院士认为:项目在任务执行时间的随机概率分布的可解性、异构并行系统可信调度等方面获得了重大突破,促进我国高性能计算理论体系的发展,引领了高性能异构并行处理领域关键技术的进步,整体技术达到了国际先进水平。

## 4、 鉴定结论

(1) 2012 年 7 月 31 日,教育部在长沙组织召开了由湖南大学承担完成的国家重大专项、国家 863 计划和广东省产学研项目“面向领域的 SOC 设计方法及应用研究”科技成果

鉴定。以王怀民为主任委员的鉴定委员会一致同意通过鉴定, 鉴定结论: 该研究成果理论先进、设计合理、性能良好、应用及产业化情况良好, 整体达到国际先进水平。

(2) 2014 年 12 月 8 日, 教育部科技发展中心委托湖南大学在长沙主持召开了由湖南大学、湖南大学科技园有限公司、长沙市商务局等单位完成的“复杂环境下 RFID 耳标芯片及生猪肉类溯源云服务平台”项目成果鉴定会。以宋君强院士为主任委员的鉴定委员会一致认为: 高并发的云服务平台资源管理与调度等方面具有重大创新, 整体技术达到国际先进水平。

## 5、 重要科技奖励

“金融 SOC 设计及其关键技术研究”, 获得 2013 年湖南省科技进步一等奖。“大规模异构并行系统高能效调度关键技术及应用”, 获得 2017 年湖南省技术发明一等奖。

## 6、 国内外同行评价

(1) 国际著名高性能计算专家、IEEE-TC 前主编、IEEE/AAAS Fellow、澳大利亚悉尼大学 Albert Zomaya 团队对高效能随机调度理论进行了肯定, 指出项目中的方法将对那种运行时间需要预测的并行应用非常有吸引力: “This makes it attractive to a class of applications, for which performance predictability is needed.”

(2) IEEE-TCC 前主编、IEEE Fellow、澳大利亚墨尔本大学的 Rajkumar Buyya 教授团队对项目提出的高效能随机调度理论进行了肯定: “Our algorithm is inspired by such method by considering particularities of Cloud infrastructures.”

(3) IEEE-TC 副主编、新加坡国立大学的 Bharadwaj Veeravalli 教授充分肯定项目提出的安全驱动的调度算法能获得较高的安全性能: “They proposed a security-driven scheduling algorithm for DAGs which can achieve high quality of security for applications.”。美国新墨西哥大学的 Majeed Hayat 教授等人对我们的随机任务模型的合理假设给予了肯定: “Researchers have argued that these assumptions are meaningful solely in parallel computing environments.”

(4) 美国计算机科学家 Maen Saleh 在 IEEE-TNSM 论文中指出: 本项目中的方法能够动态测量每个网络节点的可信度并在计算优先级时考虑了每个节点上任务的安全开销: “It dynamically measures the trust level of each network node

and introduces a task priority rank to estimate security overhead of the task at each node.”。

(5) 项目所研发的新型云资源管理调度技术以独立章节形式在美国 CRC Press 出版专著“**Big Data: Algorithms, Analytics, and Applications.**”中发表, 美国工程院院士 Jack Dongarra 序言中此给予了高度评价: **“addresses and examines important areas such as management, processing, data stream techniques, privacy, and applications.”。**

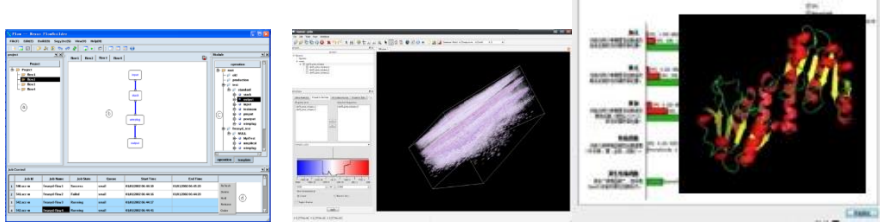
## 五、应用情况

自 2016 年逐步应用推广以来,大规模异构并行系统调度器已成功应用于天津、广州、深圳、济南、长沙和无锡六大国家超算中心主机与浪潮、曙光的高性能及超算服务器集群上,将以上超算中心国产高性能计算机的应用效率提高了 6%-10%,取得了显著的社会效益.基于异构多核嵌入式优化调度技术研发的金融终端的高性能 SoC 芯片已大规模应用在湖南长城信息金融设备有限责任公司、深圳市证通电子股份有限公司等国内金融支付骨干企业生产的金融自助终端和 POS 支付产品上,为实现我国金融高端支付设备的安全自主可控提供了新的解决方案.新型云资源管理与调度系统已成为支撑智能制造、工业互联网、数字医疗、电子政务云平台的关键技术,为浪潮、曙光、东华软件、劲胜智能、华自科技等上市企业在以上领域的解决方案提供了高效的云计算资源调度中间件与支撑系统。

### 1、超级计算机大规模异构并行系统调度器

大规模异构并行系统调度器已成功应用于天津、广州、深圳、济南、长沙和无锡六大国家超算中心主机,并基于新型云资源管理调度和配置技术构建了针对国产异构超级计算机的“超算云”,为工程仿真、生物计算、科学计算等领域的提供弹性、实时的高性能计算资源.在天津中心的电磁计算和深圳中心的基因测序应用中,在相同计算核心上最大可分别减少约 7%和 9%的运行时间,对于以上两类应用平均可节省机器能耗 6.4%.国内知名的高性能计算服务提供商并行科技有限公司和大连理工大学将该调度器分别嵌入到了其集群资

源管理系统和有限元分析软件 JIFEX 中.在我国“凤凰工程”所使用的 300T CPU-MIC 异构系统结构中,集成了该调度器的蛋白质计算分析和并行调度框架也已被中科院生物物理所等 5 个团队使用。



在通用服务器产品上,大规模异构并行系统调度器也已成功集成到浪潮、曙光异构服务器系统软件中:(1)成功应用于浪潮 AI 超级计算平台、AGX 系列高性能服务器产品,成为浪潮集群管理平台 ClusterEngine 的重要模块,在基于 Caffe 的 16GPU 并行版本的深度学习服务器上取得了 13 倍的加速比.近年来成功服务于科学计算、智慧城市、电子政务等各个领域,取得销售收入近 10 亿元.(2)成功应用于构建曙光天阔、TC 系列 GPU/CPU 异构服务器集群的任务调度与资源管理中间件平台,近年来广泛服务于应用于石油、气象、水利水电、金融证券、生物信息处理、网络信息服务和基础科学计算等行业领域,取得了销售收入近 5 亿元。

## 2.2 资源受限条件下异构多核嵌入式 SoC 系统调度器

基于异构多核嵌入式优化调度技术,近年来与湖南长城信息金融设备有限责任公司、深圳市证通电子股份有限公司合作研发了高性能金融 SOC 芯片,已大规模应用于长城金融的银行自助服务终端、金融自助终端、银行柜台终端等核心产品,以及证通电子金融业务板块中的移动 POS 机、医疗自助服务终端、密码键盘等核心产品线,打破了国外安全芯片的垄断,解决了两家公司金融产品线自助支付终端芯片的安全和自主可控问题,2015 年-2017 间实现销售额逾 15 亿元。



## 2.3 分布式环境下新型云资源管理与调度系统

(1) 基于本项目中新型云资源管理调度和配置技术所研发的“行业大数据并行处理平台”、“云资源池管理与调度系统”,作为中间件广泛用于东华软件的数字医疗,金融信息交换



平台,工业云计算等业务领域,为东华软件的智慧城市解决方案提供了云计算与大数据采集、并行处理与智能化分析挖掘的基础设施,近三年来获得销售收入逾 10 亿元。

(2) 基于本项目中新型云资源管理调度和配置技术所研发的“云资源池管理与调度系统”,作为核心中间件已成功应用于浪潮行业云的 IAAS 解决方案,部署于浪潮在全国的近 10 个云数据中心,已为 40 余个省、市的政府和企业提供云计算服务,近三年来获得销售收入近 5 亿元。

(3) 项目中研发的新型云资源管理调度和配置技术已成功应用于曙光信息产业股份有限公司所研发的“曙光城市云”,面向平安城市、智慧交通、节能环保、高端制造等业务领域提供云计算基础设施平台.作为主要的资源管理中间件模块,在项目中取得了近 3 个亿的销售收入。

(4) 项目中研发的新型云资源管理调度和配置技术成功应用于苏州千视通视觉科技股份有限公司研发的视频监控与分析的整体解决方案中,作为视频监控、查询与识别系统的云平台基础设施.该技术使用分布式架构和缓存技术对查询性能进行优化,能够在亿级数据量中实现组合查询,并且在秒级时间内实时返回结果,在公安部门进行车辆行人识别、犯罪追踪中具有很大的应用价值.在 2018 年取得经济效益 2100 余万元。

(5) 基于本项目中研发的新型云资源管理调度和配置技术所研发的工业大数据并行处理与分析挖掘服务平台,在广东劲胜智能集团股份有限公司的面向 3C 终端制造的数控机床智能化生产线上成功部署.该平台支持多源非结构化数据采集和收集机制,实现智能化生产线上的生产大数据实时采集.平台目前接入产线 8 条,数控机床、AGV 小车和机器人 200 余台套,能实时采集数控机床运行过程中的指令域与传感器大数据,并能通过线性回归、分类等 Spark 并行机器学习库完成基础的数据分析,已成为国家智能制造试点示范工程中数据基础设施的重要组成部分。



(6) 华自科技基于本项目中研发的新型云资源管理调度和配置技术建立了发电设备的工业数据高性能并行处理基础设施平台,为水电站等行业用户提供工业物联一站式解决方案:建立了发电站设备数据采集、存储、分析并行处理基础设施,并提供设备用电量预测、基于自然语言分析的设备故障树生成等模块,为华自科技建立以智能控制、大数据分析决策系统为核心,为用户提供水利水电、智能变配电、环保等领域的工业物联一站式解决方案完成关键技术的研发与验证.目前平台接入设备数两万余台(套),服务于 500 余家客户,能完成设备的实时监测与预警预测.近三年来新增产品销售 6000 余万元。

## 六、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权(标准)类别	知识产权(标准)具体名称	国家(地区)	授权号(标准编号)	授权(标准发布)日期	证书编号(标准批准发布部门)	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)	发明专利(标准)有效状态
发明专利	大规模异构系统中具有调度任务的虚拟机方法	中国	ZL201310506812.9	2016年11月02日	2285127	湖南大学	李肯立;唐小勇	有效专利
发明专利	一种基于SLURM的调度集成与评测系统方法	中国	ZL201310585227.2	2016年08月17日	2172132	湖南大学	李肯立;刘楚波;徐雨明	有效专利
发明专利	一种动态均衡的负载均衡方法	中国	CN201410544782.5	2017年05月17日	5399031	中国解放军国防科技大学	甘新标;刘杰;迟利华;刘益涵;胡庆杰;蒋胜国;李苏怀;李庆南;崔显陈	有效专利
发明专利	一种具有存感知的多层次调度方法	中国	ZL201310145363.X	2016年06月08日	2101368	湖南大学	李肯立;王家卓;正;肖宁波	有效专利
发明专利	一种基于SLURM的作业依赖关系执行方法	中国	ZL201310239254.4	2016年07月06日	2141553	湖南大学	李肯立;陈雪雨;徐刘楚波;肖正	有效专利
发明专利	一种基于库拦截的虚拟化态通用计算方法	中国	ZL201410034982.6	2017年02月08日	2375621	湖南大学	李肯立;陈石;林浩	有效专利
发明专利	利用CPU和GPU协同求解三方加速方法	中国	CN200910226769.4	2012年03月21日	4939122	中国解放军国防科技大学	杨灿群;廖湘科;陈娟;王杰;陈锋;刘春;黄会战;云飞	有效专利
发明专利	基于单位面的加速比资源可重构管理方法	中国	CN201010022083.6	2015年02月10日	1363132	湖南大学	李仁发;陈宇;成刘;海彦;刘海;钟俊;钟滔;邢继	有效专利



计算提供了可能.主导了超级计算机大规模异构并行系统调度器在天津、广州、深圳、济南、长沙和无锡六大国家超算中心主机与浪潮、曙光的高性能及超算服务器集群上的应用,取得了较大的经济和社会效益.其贡献占本人工作量的 55% 以上。

**姓名：刘杰**

**排名：2**

**行政职务：无**

**技术职称：教授**

**完成单位：中国人民解放军国防科技大学**

**工作单位：中国人民解放军国防科技大学**

**对本项目贡献：基于天河系列超级计算机,研制了大规模异构并行系统调度器;将高效能调度理论应用到云计算等领域,研发了针对数据处理与智能分析等应用的加速算法.在该项目研究中的工作量主要体现在主要创新点二:研发了能适应超算异构环境的自适应调度技术,成功应用于国家超算长沙中心天河一号、国家超算广州中心天河二号超级计算机.创新点四:将随机调度理论扩展到云计算和大数据环境,研制了超算云服务资源管理平台”。其贡献占本人工作量的 50%以上。**

**姓名：唐卓**

**排名：3**

行政职务：无

技术职称：副教授

完成单位：湖南大学

工作单位：湖南大学

对本项目贡献：提出了云计算环境下的随机调度方法,在该项研究中的工作量主要体现在创新点四:将随机调度理论扩展到云计算和大数据环境,提出了新型云资源管理调度和配置技术.并基于此,将所研发的大数据并行处理云服务平台在成功应用于智慧城市、工业物联网、智能制造等多个领域,为劲胜智能、华自科技、证通电子等上市企业在以上领域的解决方案提供了高效的云计算资源调度中间件与支撑系统,取得了较好的经济效益.其贡献占本人工作量的65%以上。

**姓名：李仁发**

排名：4

行政职务：无

技术职称：教授

完成单位：湖南大学

工作单位：湖南大学

对本项目贡献：资源受限条件下异构多核嵌入式 SoC 系统调度技术.在该项研究中的工作量主要体现在主要创新点三:针对嵌入式 SoC 芯片面积小、计算存储资源少、能量受限、实时性要求高等特点,提出了一种资源受限条件下异构多核嵌入式优化调度技术,提升了专用嵌入式 SoC 系统在针对

行业信息的加解密过程中的计算效率.其贡献占本人工作量的 50%以上。

**姓名：张云泉**

**排名：5**

**行政职务：无**

**技术职称：教授**

**完成单位：中国科学院软件研究所、中国科学院计算技术研究所**

**工作单位：中国科学院计算技术研究所**

**对本项目贡献：提出了基于 x86 架构的稠密矩阵乘法汇编代码自动生成方法和稀疏矩阵的对角线数据存储方法及基于该方法的 SpMV 实现方法.在该项研究中的工作量主要体现在创新点一:建立了一种面向异构并行结构的可靠性分析方法和可靠性模型,提出了集可靠性分析、任务容错与任务调度为一体的系统可靠性驱动的任务调度机制;创新点二:面向特定应用的 CPU—GPU 协同优化调度算法.其贡献占本人工作量的 40%以上。**

**姓名：刘文斌**

**排名：6**

**行政职务：湖南长城信息金融设备有限责任公司财务总监**

**技术职称：高级会计师**

**完成单位：湖南长城信息金融设备有限责任公司**

工作单位：湖南长城信息金融设备有限责任公司

对本项目贡献：参与了金融 SOC 芯片的研发,从产业应用的角度领导了产品设计,并推动了金融 SOC 安全芯片在长城科技集团产品中的应用,取得了较大的经济效益.在该项研究中的工作量主要体现在创新点三:多核嵌入式系统中的调度优化理论与技术.其贡献占本人工作量的 40%以上。

**姓名：秦拯**

排名：7

行政职务：湖南大学信息科学与工程学院副院长

技术职称：教授

完成单位：湖南大学

工作单位：湖南大学

对本项目贡献：提出了一种综合用户正负性评分和评分偏好因子的协同过滤方法用以反馈调整调度策略,应用于本项目中的主要创新点二:研发了一种能适应超算异构环境的自适应调度技术;创新点四:新型云资源管理调度和配置技术.其贡献占本人工作量的 60%以上。

**姓名：彭绍亮**

排名：8

行政职务：无

技术职称：教授

完成单位：湖南大学、中国人民解放军国防科技大学



工作单位：湖南大学

对本项目贡献：基于天河系列超级计算机,针对生物医药等领域的具体应用,提出了基于 GPU 的加速算法和基于 MapReduce 的并行处理方法.在该项研究中的工作量主要体现在创新点二:在面向特定应用的 CPU—GPU 协同优化调度算法中,研制了针对生物计算的可扩展 CPU-GPU 并行算法中间件.其贡献占本人工作量的 30%以上。

**姓名：李姗姗**

排名：9

行政职务：无

技术职称：教授

完成单位：中国人民解放军国防科技大学

工作单位：中国人民解放军国防科技大学

对本项目贡献：在该项目研究中的工作量主要体现在主要创新点二:面向大规模异构计算系统,研发了能适应超算各类应用的自适应调度技术,实现了异构超算自适应任务调度器,建立了“作业类型—算法”的映射关系集.参与了创新点三的部分工作:针对嵌入式 SoC 芯片面积小、计算存储资源少、能量受限、实时性要求高等特点,提出了一种资源受限条件下异构多核嵌入式优化调度技术.其贡献占本人工作量的 30%以上。

**姓名：刘楚波**

排名：10

行政职务：无

技术职称：副教授

完成单位：湖南大学

工作单位：湖南大学

对本项目贡献：提出了一种基于 SLURM 调度的算法集成与评测系统及方法.在该项研究中的工作量主要体现在主要创新点一:构建了并行随机任务 DAG 模型,将以确定的任务执行时间为基础参数的调度突破为以时间的期望和方差作为主要输入,发现并证明了具有优先约束依赖关系的任务 DAG 图的调度长度存在下界;创新点二:面向特定应用的 CPU—GPU 协同优化调度算法.其贡献占本人工作量的 60% 以上。

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

**主要完成单位：湖南大学**

**创新推广贡献：**

对本项目的贡献主要体现在创新点一、创新点二、创新点三和创新点四.具体表现在：

1、较系统地提出了异构并行环境下的高效能随机任务调度的理论与方法,有效解决了在领域 SoC 芯片、超级计算机解算器、科学仿真、工业互联网与云服务平台所面临的大规模、计算资源异构以及低能耗等挑战性问题,提升了系统的执行效率.具体表现在：

(1) 系统地提出了并行随机任务调度理论与方法.率先发现并证明存在约束关系的任务间随机任务调度长度具有下界，解决了高性能计算多年来任务执行时间无法预测的难题。

(2) 研制了超级计算机大规模异构并行系统调度器.提出了超级计算系统自适应调度技术,在此基础上建立了大规模“作业类型——算法”的映射关系集,针对准三对角线性系统求解、并行背包类算法、分子动力学模拟等,提出了基于 CPU-GPU 异构结构的高可扩展性并行算法库。

(3) 针对嵌入式 SoC 芯片面积小、计算存储资源少、能量受限、实时性要求高等特点,提出了一种资源受限条件下异构多核嵌入式优化调度技术,与参与单位湖南长城信息金融设备有限责任公司共同完成了金融支付芯片的研制。

(4) 发明了一种 GPU 虚拟化技术 vCUDA,在国际上率先解决了 GPU 资源虚拟化与复用的难题,提出了一种新型云资源管理与配置技术,在此基础上实现了高效的数据并行处理平台。

2、推动了项目技术的产业化应用,取得了显著的社会效益和经济效益.主要表现在:新型解算器应用于多个国家超级计算中心和浪潮、曙光等单位的高性能机群系统;多核嵌入式系统的调度优化技术的金融 SOC 安全芯片已成功应用于深圳市证通电子股份有限公司、湖南长城信息金融设备有限责任公司的金融自助与支付设备;基于新型云资源管理调度技术所研发的大数据并行处理云服务平台在成功应用于智慧城市、工业物联网、智能制造等多个领域,为行业大数据解决方案提供了高效、弹性的计算与存储能力。

**主要完成单位: 中国人民解放军国防科技大学**

## 创新推广贡献:

对本项目的贡献主要体现在创新点一与创新点四.具体表现在:

1、作为国产“天河”系列超级计算机的研制单位,主要科技创新体现在基于国产超级计算机的高性能任务调度器以及的超算云服务平台的研制上.(1) 基于项目中所提出的异构并行环境下的高效能随机任务调度的理论与方法,研发了一种能适应超算异构环境的自适应调度技术,能针对不同类型的作业,实时选择适合其作业类型的调度算法,提高系统的处理效率。

(2) 研制了超级计算机大规模异构并行系统调度器,已成功应用于国家超算长沙中心和天津中心的天河一号、国家超算广州中心的天河二号超级计算机。

(3) 将高效能调度理论应用到云计算等领域,针对超级计算机云资源管理调度技术研发了超算云服务平台,提升了超级计算机在行业应用中的可用性。

2、在技术的推广应用上:该单位研发的大规模异构并行系统调度器已成功应用于天津、广州、深圳、长沙等国家超级计算中心,显著提高了以上单位的超级计算机在大型工程仿

真、分子运动动力学仿真、天气预测分析等应用上的任务执行效率,提升了系统的稳定性,节省了能耗。

**主要完成单位:** 中国科学院计算技术研究所

**创新推广贡献:**

对本项目的贡献主要体现在创新点一与创新点二.具体表现在:

1、协助第一单位湖南大学完成了基于任务执行时间和系统失效随机性的高效能模拟调度器设计。针对现有 **GridSim**、**SimGrid** 等调度模拟器都基于确定任务计算量和无能耗性能的不足,研究非确定型独立任务和基于优先约束关系的非确定型计算量任务的 **DAG** 应用测试程序产生方法,将此方法及系统能耗、可靠性作为调度目标,对 **SimGrid** 等现有并行调度模拟实验平台进行增删、修改和完善,设计和研发基于随机性的可综合任务调度长度、总完成时间、系统能耗和可靠性等多目标的高效能模拟调度器,并利用其对所提出的调度理论与方法进行模拟实验。

2、提出了基于 **x86** 架构的稠密矩阵乘法汇编代码自动生成方法和稀疏矩阵的对角线数据存储方法及基于该方法的

SpMV 实现方法。针对准三对角线性系统求解，建立了一种描述大规模稀疏矩阵非零元素分布的概率模型，该模型能够预测和分析不同计算方法的压缩效率及其在 CPU—GPU 上并行执行的性能，从而选择相应的最优存储格式和计算方法，以达到优化调度的目的。

**主要完成单位：湖南长城信息金融设备有限责任公司**

**创新推广贡献：**

对本项目的贡献主要体现在创新点三.具体表现在：

面向金融终端应用场景，针对嵌入式 SoC 芯片面积小、计算存储资源少、能量受限、实时性要求高等特点，参与资源受限条件下异构多核嵌入式优化调度技术的研制，提供实验设备和应用场景，与第一单位湖南大学共同完成了资源受限条件下异构多核嵌入式 SoC 系统调度器的研制，并在此基础上研发了面向金融终端应用的高性能 SoC 芯片，提升了专用嵌入式 SoC 系统在针对行业信息的加解密过程中的计算效率。

作为项目的应用单位，推广了项目中所研制的金融 SOC 芯片在金融电子行业的应用。将本项目中基于多核嵌入式系统下的调度优化理论与技术的 SOC 支付芯片应用于 ATM 机、

移动 POS 机、银行自助服务终端、密码键盘等核心产品线，在银行、零售店、社区的自助缴费、在线支付等应用场景中的自助终端支付模块的核心密码部件上打破了国外垄断，推广了我国国密算法的应用，推动了我国安全可靠软硬件创新发展的进程，取得了较好的社会效益和经济效益。

## 九、完成人合作关系说明

湖南大学李肯立教授，主持该项目的总体设计，对四个创新点的基础理论和关键技术进行突破，并协调落实技术实现和产业化工作。

针对大规模异构并行随机任务调度理论与方法的研究，李肯立、唐卓申请了专利《大规模异构计算系统中任务计算量具有随机性的调度方法》；李肯立、刘楚波申请了专利《一种基于SLURM的具有数据依赖关系的作业执行方法》。李肯立、唐卓、李仁发合作以项目“大规模异构并行系统高效能调度关键技术及应用”取得了2017年湖南省技术发明一等奖。李肯立、张云泉、李姗姗完成了国家自然科学基金重点项目“大规模异构并行系统的高效能调度理论与方法”。

针对超级计算系统高效能任务调度与解算器的研究，李肯立、刘楚波申请了专利《一种基于SLURM调度的算法集成与评测系统及方法》；李肯立、唐卓申请了专利《一种具有



存储感知的多层分块调度方法》；李肯立、唐卓、李仁发合作项目“可扩展的高性能计算的若干基础理论与方法”获得了2012年湖南省自然科学二等奖。

针对多核嵌入式系统中的调度优化理论与技术的研究，李肯立、李仁发申请了专利《软硬件协同函数库的构造方法》、《考虑硬件预配置因素的动态软硬件划分方法》、《一种过程级软硬件协同设计自动化开发方法》和《基于单位面积加速比的可重构资源管理方法》。

湖南大学李肯立及其团队与完成人中国长城科技集团股份有限公司刘文斌及其团队以产学研的方式合作，利用多核嵌入式系统中的调度优化理论与技术，完成高性能金融SOC芯片在医疗自助服务终端、金融自助终端、银行柜台终端等核心产品的大规模应用，解决了长城医疗、长城金融产品线自助支付终端芯片的安全和自主可控问题，2015年-2017年实现销售额8.3亿元，累计新增利润1.3亿元。

针对新型云资源管理调度技术的研究，李肯立、唐卓合作提出了一种基于服务器内存过量预分配的虚拟机动态预测部署模型，发表了论文《Dynamic Forecast Schedule Algorithm for Virtual Machine Placement in Cloud Computing Environment》，针对 Hadoop 中间数据的 Shuffle 过程，合作

提出一种基于 Reduce 时空调度算法，发表了论文《A self-adaptive scheduling algorithm for reduce start time》、《A Data Skew Oriented Reduce Placement Algorithm Based on Sampling.》。针对 Hadoop/Spark 中的内部数据偏斜问题，合作提出了优化了内部数据的分片算法，发表了论文《An Intermediate Data Partition Algorithm for Skew Mitigation in Spark Computing Environment》。