**2020年度湖南省科学技术奖励拟提名项目公示内容**

（自然科学奖）

|  |  |
| --- | --- |
| **项目名称** | 面向人工智能的异构并行算法设计理论与方法 |
| **提名意见** | 当前，人工智能正逐步渗透到医疗、科学、财产、安全、交通等各个领域。然而，人工智能应用具有数据处理规模大、计算密集、实时性要求高等特征，传统以计算任务映射为中心的并行计算不再适用。为此，项目组提出了异构协同并行计算理论、异构协同并行算法，和新型面向人工智能应用的并行算法。  项目成果已成功应用于癌症诊断、年龄识别等应用，为促进人工智能应用水平（尤其是实时性能）、提升重大复杂应用算例计算性能做出了重要贡献。  提名该项目为湖南省自然科学奖 一 等奖。 |
| **项目简介** | 以深度学习为代表的新型人工智能应用计算和访存密集、实时性要求高，在此背景下，新型融合异构并行计算结构、数据和深度学习模型的高效智能计算已逐步在工业界和学术界引起重视。但相较于传统计算，人工智能数据处理规模大、数据间依赖性强，传统以任务映射为中心的并行计算方法不再适用。  鉴此，申请者针对人工智能数据规模大、依赖性强、计算结构复杂异构等挑战，设计了异构协同并行计算理论、异构协同并行算法，以及面向人工智能高效应用的异构并行算法。取得的主要研究成果概述如下：  (1)异构协同并行计算理论，首先提出一个描述大规模稀疏矩阵和张量非零元素的分布密度函数（Distribution MassFunction，DMF），利用该函数可以分析稀疏矩阵和张量非零元素的密度分布，能够从理论上分析其稀疏模式的数字特征，利用这些数值特征可以定量分析稀疏矩阵和张量在不同压缩方法下的压缩效率，以及在并行计算中的数据访问效率；其次发现了在大规模异构计算机系统上针对异构处理器的算力和计算特征进行合理的数据划分，以获得最佳并行效率；最后设计了适应异构体系结构的多级映射队列，保证计算效率的同时提升了计算系统可靠性。  (2)异构协同并行算法，首先，针对异构计算结构，设计了基于非合作博弈的自主协同并行算法；其次，提出了一种针对大规模线性系统的混合直接法和迭代法的求解算法；最后，针对矩阵乘，设计了基于矩阵分解的异构并行算法。  (3)新型人工智能高效异构并行算法，针对大数据环境对数据移动的需求，设计了基于数据关联推断的深度学习并行方法，能显著减少数据移动次数从而提升并行计算效率。 |
| **3** | 针对异构协同并行计算理论，该项工作的3篇代表论文已经发表在高性能计算国际顶级刊物TC、TPDS等，并受到了国内外同行的较高关注和评价。中国科学院陈国良院士在并行与分布式计算领域权威期刊TPDS上发表的论文中认为“我们提出了针对特定目标的执行时间预测模型”；华中科技大学IEEE Fellow金海教授在国际著名综述刊物ACM Computing Surveys的论文指出“我们的论文表明SpMV的压缩格式随数据特征的变化而变化，因为针对不同数据应当选择最优的压缩格式”；ACM Computing Surveys副编辑Hamid Sarbazi-Azad教授在其发表在国际高性能计算权威期刊The Journal of Supercomputing上的论文指出“更重要的是，我们的文章中提出了一个性能预测模型来预测SpMV的合适压缩方式。我们提出的模型能够分析矩阵中非零元素的分布”。南洋理工大学P. N. Suganthan教授（获评“2015年世界最有影响力的科学家”）在其发表在Applied Soft Computing中的论文指出“我们提出的进化算法已经验证了实际参数优化标准问题并已成功用于实际应用”。 |
| **代表作及论文目录** | 1, Kenli Li, Wangdong Yang, and Keqin Li. Performance analysis and optimization for SpMV on GPU using probabilistic modeling. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 26, no. 1, pp. 196-205, January 2015  2, , Wangdong Yang, Kenli Li, Zeyao Mo, and Keqin Li. Performance optimization using partitioned SpMV on GPUs and multicore CPUs. IEEE Transactions on Computers, vol. 64, no. 9, pp. 2623-2636, September 2015  3, Yuming Xu, Kenli Li, Jingtong Hu, and Keqin Li. A genetic algorithm for task scheduling on heterogeneous computing systems using multiple priority queues. Information Sciences, vol. 270, pp. 255-287, June 2014  4, Chubo Liu, Kenli Li, Chengzhong Xu, and Keqin Li. Strategy configurations of multiple users competition for cloud service reservation. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 27, no. 2, pp. 508-520, August 2016  5, Kenli Li, Wangdong Yang, Keqin Li. A Hybrid Parallel Solving Algorithm on GPU for Quasi-Tridiagonal System of Linear Equations[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2016, 27(10):2795-2808 6, Jianguo Chen, Kenli Li, Zhuo Tang, [Kashif Bilal](https://ieeexplore.ieee.org/author/38093904000), [Shui Yu](https://ieeexplore.ieee.org/author/37405530700), [Chuliang Weng](https://ieeexplore.ieee.org/author/37086196484), [Keqin Li](https://ieeexplore.ieee.org/author/37277618700). [A Parallel Random Forest Algorithm for Big Data in a Spark Cloud Computing Environment](https://ieeexplore.ieee.org/document/7557062/). IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2017, 28(4): 919-933 7, Qing Liao, Ye Ding, Zoe L. Jiang, Xuan Wang, Chunkai Zhang, Qian Zhang, Multi-task deep convolutional neural network for cancer diagnosis. Neurocomputing, 2019, 348: 66-73  8, M. Duan, K. Li and K. Li, An Ensemble CNN2ELM for Age Estimation, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 13, no. 3, pp. 758-772, March 2018 |
| **主要完成人情况** | **摘自“主要完成人情况表”中的部分内容，公示姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、主要完成单位、对本项目的贡献。**  **李肯立，1，院长/主任，教授，湖南大学，湖南大学**  主要贡献：项目负责人，负责异构协同并行计算理论与算法关键难点的研究。  **刘楚波，2，无，副教授，湖南大学，湖南大学**  主要贡献：负责异构自主协同调度算法和架构的研究。提出了基于非合作博弈的自主协同并行算法。  **廖清，3，无，副教授，哈尔滨工业大学（深圳），哈尔滨工业大学（深圳）**  主要贡献：针对大数据环境对数据移动的需求，设计了基于数据关联推断的高效深度学习并行算法。  **阳王东，4，无，教授，湖南大学，湖南大学**  主要贡献：提出和实现了SpMV基于CPU/GPU异构结构划分和并行算法。  **段明星，5，无，博士后，湖南大学，湖南大学**  主要贡献：设计了计算和数据感知的极限学习机并行算法。  **李克勤，6，无，教授，State University of New York，湖南大学**  主要贡献：建立了稀疏矩阵非零元素分布的概率模型。 |
| **主要完成单位情况** | **摘自“主要完成单位情况表”中的部分内容，公示单位名称、排名、对本项目的贡献。**  **湖南大学，1**  主要贡献：(1)系统提出了异构协同并行计算理论和方法，率先设计了基于非零元素分布预测的分布模型，从而减少了大量冗余数据计算；(2)设计了针对CPU/GPU异构结构的协同并行算法；(3)设计了面向人工智能应用的并行优化算法。  **哈尔滨工业大学（深圳），2**  主要贡献：针对大数据环境对数据移动的需求，设计了基于数据关联推断的深度学习并行计算算法。针对人工智能高效应用，提出了并行优化方案并推广了其更深度应用。 |
| **主要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，对三个科学发现的基础理论和关键算法难点进行突破，并协调落实其在人工智能高效应用方面的实现和产业化工作。  作为湖南大学超级计算与云计算研究所的骨干成员，自2008年开始，李肯立、刘楚波、阳王东及其团队成员始终围绕异构并行协同计算、高性能计算等本项目核心内容进行研究攻关。自2013年开始，李肯立教授带领湖南大学超级计算与云计算研究所、哈尔滨工业大学（深圳）分布式系统研发团队开始针对本项目中关键技技术的推广应用进行紧密合作。  针对异构并行计算理论研究。与阳王东、李克勤合作设计了基于稀疏矩阵的快速和异构并行算法，并完成了论文“Performance optimization using partitioned SpMV on GPUs and multicore CPUs. IEEE Transactions on Computers, vol. 64, no. 9, pp. 2623-2636, September 2015”；与阳王东、李克勤合作研设计了SpMV的分布模型，并完成了论文“Performance analysis and optimization for SpMV on GPU using probabilistic modeling. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 215, 26(1): 196-205”；  针对异构协同算法研究，与刘楚波合作完成了论文“Strategy configurations of multiple users competition for cloud service reservation, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 27(2): 508-520”；与阳王东合作完成了论文“A Hybrid Parallel Solving Algorithm on GPU for Quasi-Tridiagonal System of Linear Equations[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2016, 27(10):2795-2808”；  针对人工智能应用高效并行算法，与段明星合作完成了论文“An Ensemble CNN2ELM for Age Estimation, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2018, 13(3): 758-772”；在算法推广应用方面，与完成人哈尔滨工业大学（深圳）廖清共同推动了新型人工智能并行算法在癌症检测、年龄识别等方面的应用。 |