

智能化边缘计算专题序言

新型基础设施建设包括 5G 基站建设、特高压、城际高速铁路和城市轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、工业互联网等诸多领域,其中计算性能和网络安全起着关键作用。与传统的云计算模式不同,边缘计算的出现使得服务调用所需的数据、数据处理和应用程序可以部署在网络边缘设备中,边缘服务器可以直接与用户进行业务交互并对相关数据进行处理。同时,人工智能的发展为边缘计算理论与技术的发展注入了新的活力,使得基于边缘计算模式的新兴应用能适应复杂多态、按需应变和广域移动的需求,实现高性能、高可用性、低延迟和优良服务的交互体验等。

《计算机科学》开设了“智能化边缘计算”专题,为相关领域的专家学者提供交流合作、发布最新前沿科研成果的平台,促进学术界和工业界的深度融合,推动中国人工智能领域的发展。本专题采取定向邀请和自由投稿相结合的方式,最终有 14 篇论文入选本专题,其中每篇稿件至少邀请两位专家进行评审,每篇稿件都至少经过两轮审稿。

《边缘计算助力工业互联网:架构、应用与挑战》阐述了边缘计算技术在工业互联网领域的应用与系统架构原理,针对工业互联网领域的不同应用场景,如离散制造业、智能交通、智慧工厂等,提供了高可靠、低时延、高隐私性的数据应用服务,重点梳理了工业互联网边缘计算系统中的关键使能技术,论述了工业互联网边缘计算技术在边缘设备管理、边缘网络的安全性以及系统资源管理等方面亟待解决的问题,并对边缘计算技术的未来进行了展望,提出边缘计算有望应用在如智慧城市、公共安全等前沿研究领域。

《边缘计算中任务卸载研究综述》阐述了边缘计算的形成过程、发展过程与系统架构原理,针对如何为用户提供高可靠、低时延的数据传输服务这一难点问题,重点梳理了边缘计算系统中计算卸载问题的研究现状,并阐述了现有工作在安全性、数据依赖性、资源利用率等方面有待解决的问题,对多边协同、服务管理、边缘端联邦学习等新兴和前沿的研究方向进行了展望。

《物联网中多设备多服务器的移动边缘计算任务卸载技术综述》详细介绍了近几年物联网中基于移动边缘计算的多设备多服务器的任务卸载技术的研究进展,分析了基于移动边缘计算任务卸载的优势以及在发展过程中面临的难点问题,探讨了多服务器与多设备环境下不同方向上的任务卸载方案以及各自的优缺点,提出了几个待解决的问题,探讨了未来的发展方向。

《基于排队论的服务资源可用性相关研究综述》阐述了排队论的一般表示模型和解决问题类型,重点对近年来有关排队论的服务可用性预测文献进行了综述,包括其在日常生活、云计算以及网络资源中的应用,并对预测服务可用性的目的进行分类和总结归纳,包括对资源进行预测、合理规划和分配资源、满足用户需求、减少用户等待时间和提高系统可靠性等,阐述了现有工作在考虑用户个性化和可用性量化程度等方面有待解决的问题,并展望了未来将基于排队论的资源可用性预测用在服务推荐问题上的大致方向与研究难点。

《基于移动边缘计算的车载 CAN 网络入侵检测方法》针对网联汽车的网络入侵监测和安全保护问题,提出了一种基于支持向量数据描述(Support Vector Data Description,SVDD)的车载 CAN 网络入侵检测方法。该方法提取单位时间窗内 CAN 网络报文 ID 的加权自信息量和 ID 的归一化值作为特征信息,并在移动边缘计算服务器上构建并训练 SVDD 模型。目标车辆基于训练的 SVDD 模型进行异常特征值识别,从而实现实时的车载 CAN 网络入侵检测。文中采用韩国高丽大学 HCR 实验室公开的 CAN 网络数据集,对所提方法与 3 种传统的基于信息熵的车载网络入侵检测方法在拒绝服务攻击和伪装攻击检测准确率方面进行了对比与分析。仿真实验结果表明,在少量报文入侵时,所提方法显著提高了入侵检测的准确率。

《一种基于深度强化学习与概率性能感知的边缘计算环境多工作流卸载方法》针对具有非稳定性能的边缘计算基础设施上的多工作流任务卸载问题,提出了一种基于深度 Q 网络(DQN)与概率性能感知机制的边缘计算环境多工作流调度方法。该方法首先对边缘云服务器的历史性能数据进行概率分析,然后将获得的性能概率分布数据驱动 DQN 模型不断迭代优化生成多工作流的卸载策略。在实验验证环节,作者基于边缘服务器位置数据集、性能测试数据和多个科学工作流模板,在反映不同系统负载水平的多个场景下开展了模拟实验。实验结果表明,所提方法在多工作流执行效率方面明显优于传统方法。

《基于延迟接受的多用户任务卸载策略》总结了当前移动边缘计算卸载任务的研究现状,针对移动边缘计算环境下的多用户依赖任务卸载问题,在考虑时延和能耗的前提下对多用户依赖任务进行建模。在此基础上,文章提出了基于延迟接受的多用户任务卸载策略算法,该算法首先保证单个用户的任务卸载策略最优,然后提出调整策

略来解决边缘服务器节点的拥塞问题,通过两者不断地迭代,高效地卸载了多用户依赖任务,提高了用户的满意度,大大节约了移动终端设备的能耗。

《移动边缘计算中的动态用户分配方法》为边缘用户分配问题提供了一种新颖的解决思路,阐述了边缘计算环境中的边缘用户分配问题,并将其转换为一个二分图匹配问题进行优化求解。针对离线和在线环境中的用户分配,分别提出了基于精确式算法和启发式策略的优化方法。基于真实数据集和仿真数据集的实验表明,基于近邻启发式的在线方法的竞争比能够接近100%,可以在可接受的时间范围内求得较优的分配解。

《边缘计算场景中基于虚拟映射的隐私保护卸载算法》针对移动边缘环境中任务卸载潜在的隐私泄露问题,提出了一种新型的隐私保护卸载算法。作者首先对计算任务的隐私量进行定义,并设计了能够降低用户在MEC服务器中的累积隐私量的虚拟任务映射机制;其次,综合考虑了映射机制与隐私约束的优化,提出了一种具有隐私保护效果的在线隐私感知计算卸载算法;最后,通过对仿真结果的分析发现,所提出的卸载方法能够在提高系统计算速率、降低用户的计算时延的同时,使用户的累积隐私量保持在隐私阈值内,从而达到隐私保护的效果。

《一种基于遗传算法的多边缘协同计算卸载方案》针对任务空窗期导致的异地边缘云利用率低的问题,提出了一种基于遗传算法的多边缘与云端协同计算卸载模型。该计算卸载方案联合本地边缘和异地边缘进行任务卸载,并采用遗传算法进行求解,从而得到同时考虑时延和能耗的最小的系统代价。由仿真实验结果可知,在综合考虑卸载系统的时延消耗和能量消耗的情况下,该方案相比基本的三层卸载方案系统整体代价显著降低。

《基于负载均衡的VEC服务器联合计算任务卸载方案》针对移动VEC服务器负载不均衡以及卸载效率和资源利用率低的问题,提出了一种新型的联合计算任务卸载策略。该策略将用户效用最大化问题转化成服务器选择决策和卸载比例与计算资源分配联合优化两个子问题,在此基础上设计了基于匹配的服务器选择决策算法和基于Adam梯度优化法的计算任务卸载比例与资源分配联合优化算法,并对上述两种算法进行了联合迭代,直至收敛,得到近似最优解以达到负载均衡的目的。仿真结果表明,相比最近卸载方案和预测卸载方案,该方案能有效降低计算任务处理时延和车辆能耗,增大车辆效用,促进负载均衡。

《L-YOLO:适用于车载边缘计算的实时交通标识检测模型》阐述了一种适用于车载边缘计算的、轻量级的、高效的交通标识检测模型——基于Tiny YOLO改进的轻量级交通标识检测模型。首先,该模型使用部分残差连接来增强轻量级网络的学习能力;其次,为了减少交通标识误检和漏检的情况,使用高斯损失函数作为边界框的定位损失。实验结果显示,该算法在保证实时性的同时提高了检测精度。

《基于近似匹配的移动边缘计算缓存管理方法》聚焦了边缘计算场景存在相同或相似的计算任务的缓存数据选取问题,设计了动态调整桶粒度的Dynamic-LSH算法,减少了重复计算量。在此基础上,提出了基于欧氏距离和样本数加权的Weighted-KNN算法,以找出与输入数据最接近的缓存数据,提高了数据选取准确率,降低了用户数据选取时延。所提算法能够应对移动边缘计算环境下数据分布不均匀、动态变化等主要挑战。

《基于用户延迟感知的移动边缘服务器放置方法》研究了边缘服务器放置优化模型中最小化访问延迟和最小化负载差异的问题,提出了一种基于改进启发式算法的移动边缘服务器放置方法ESPHA(Edge Server Placement Based on Heuristic Algorithm)。首先将K-means算法与蚁群算法相结合,效仿蚁群在觅食过程中共享信息素,将信息素反馈机制引入边缘服务器放置方法,并通过设置禁忌表对蚁群算法进行改进,提高算法收敛速度;然后,用改进的启发式算法求解模型的最优放置方案。使用上海电信真实数据集进行实验,结果表明提出的ESPHA方法在保证服务质量的前提下取得了“低延迟、负载均衡”二者之间的优化平衡,其效果优于现有的其他几种代表性的方法。

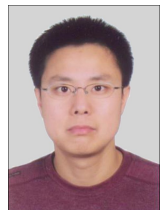
本专题面向边缘计算的研究人员和工程人员,内容涵盖任务卸载技术、动态用户分配、计算缓存管理、人工智能、网络入侵检测和隐私保护、交通标识检测等。感谢《计算机科学》期刊和编委会对专题工作的指导和帮助,感谢专题全体评审专家及时、耐心、细致的评审工作,感谢踊跃投稿的所有作者。希望本专题能够对边缘计算的相关科研工作有所促进。

上海大学计算机工程与科学学院	高洪皓
杭州电子科技大学计算机学院	殷昱煜
重庆大学计算机学院	夏云霓
School of Software and Electrical Engineering, Swinburne University of Technology	Jiong Jin
Department of Electrical and Computer Engineering, University of Windsor	Ning Zhang

专题特邀编审



高洪皓 博士,特聘教授,硕士生导师,英国工程技术学会会士(IET Fellow),英国计算机学会会士(BCS Fellow),欧洲创新联盟会士(EAI Fellow),IEEE 高级会员,CCF 高级会员,CAAI 高级会员,欧盟项目评审和监控专家,英国工程和物理科学研究委员会 EPSRC & UK Research and Innovation 项目评审专家,中华人民共和国民政部社会事务工作专家委员会委员,上海市科学技术专家,上海市经济和信息化委员会专项资金项目评审专家,上海市政府采购评审专家,浙江省科技厅科技专家,苏州市科技咨询专家,IEEE 智能制造标准委员会委员/第一届标准审查委员会委员。担任国际期刊 *International Journal of Intelligent Internet of Things Computing* 创刊主编,也是国际期刊 *EAI Transactions on Collaborative Computing* 共同主编,担任 *Wireless Network* 和 *IET Wireless Sensor Systems* Editor,担任 *IET software*, *International Journal of Communication Systems*, *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, *Journal of Internet Technology* Associate Editor。获 2016 年上海大学蔡冠深优秀青年教师奖、2016 年高等教育信息化下一代互联网校园应用创新奖、2017 年上海市教学成果特等奖、2017 年上海大学教学成果特等奖(排名第三)、全国高校计算机基础教育研究会 2017 年教学改革项目优秀、2018 年第四届中国研究生移动终端应用设计创新大赛优秀指导教师奖、2019 年宝钢优秀教师奖。



殷昱煜 博士,教授,2019—2020 年度中国计算机学会青年科技论坛杭州分论坛主席。曾作为主要完成人获得中国商业联合会服务业科技创新奖特等奖、浙江科技进步奖一等奖、浙江省科技进步二等奖及教育部科学技术进步奖一等奖。近年来主持国家级、省部级项目 9 项,作为核心成员参与国家重点研发计划、国家支撑计划、浙江省重大科技专项等项目 10 余项。发表高水平论文 60 余篇,其中 ESI 热点论文 2 篇,ESI 高被引论文 6 篇,获得国家发明专利 20 余项,合著专著《面向普适环境的自适应中间件模型与方法》和《Intelligent Mobile Service Computing》。



夏云霓 理学博士,博士后,教授,博士生导师,国际电气和电子工程师协会高级会员(IEEE Senior Member)。2003 年 7 月毕业于重庆大学计算机系,获工学学士学位。2008 年 7 月毕业于北京大学信息学院计算机软件与理论专业,获理学博士学位。2006—2007 年在微软亚洲研究院理论组从事分布式算法性能分析的研究,2013 年在美国新泽西理工学院周孟初教授(IEEE Fellow)处进行访问研究。主要从事云计算、服务计算、软件可靠性评估、性能预测等问题的研究。作为第一/通信作者发表 IEEE Transaction 期刊文章 9 篇,可被 SCI 检索的其他期刊文章 35 篇;作为第一/通信作者发表 CCF 推荐国际会议论文 14 篇。连续两次获得国家自然科学基金项目的资助,获得 2020 年吴文俊人工智能技术发明二等奖、2019 年重庆市自然科学一等奖、2019 年教育部科技进步二等奖、2017 年吴文俊人工智能科技进步一等奖、2017 年重庆市自然科学三等奖、2015 年四川省科技进步一等奖、2015 年 ACM 新星奖等。



Jiong Jin received B. E. degree with First Class Honours in Computer Engineering from Nan-yang Technological University, Singapore, in 2006, and Ph. D. degree in Electrical and Electronic Engineering from the University of Melbourne, Australia, in 2011. From 2011 to 2013, he was a research fellow in the Department of Electrical and Electronic Engineering at the University of Melbourne. He is currently a senior lecturer in the School of Software and Electrical Engineering,

Faculty of Science, Engineering and Technology, Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia. His research interests include network design and optimization, edge computing and distributed systems, robotics and automation, cyber-physical systems and Internet of Things, as well as their applications in smart manufacturing, smart transportation and smart cities.



Ning Zhang is an associate professor in the Department of Electrical and Computer Engineering at University of Windsor, Canada. He received Ph.D. degree in Electrical and Computer Engineering from University of Waterloo, Canada, in 2015. After that, he was a postdoc research fellow at University of Waterloo and University of Toronto, Canada, respectively. His research interests include connected vehicles, mobile edge computing, wireless networking and machine learning. He is

a highly cited researcher (Web of Science). He received an NSERC PDF award in 2015 and 6 Best Paper Awards from IEEE Globecom in 2014, IEEE WCSP in 2015, IEEE ICC in 2019, IEEE ICC in 2019, IEEE Technical Committee on Transmission Access and Optical Systems in 2019, and Journal of Communications and Information Networks in 2018, respectively. He serves as an associate editor of *IEEE Internet of Things Journal*, *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, *IEEE Systems Journal*, *Vehicular Communications* (Elsevier), and a guest editor of several international journals, such as *IEEE Wireless Communications*, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, and *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*. He also serves as a TPC chair for IEEE SAGC 2020, a track chair for several international conferences including IEEE VTC 2020, IEEE ICC 2022, AICON 2020 and CollaborateCom 2020, and a co-chair for numerous international workshops. He has been a senior member of IEEE since 2018.