

基于SDN架构的 工业互联网多层多址边缘计算

Multi-layer Multi-access Edge Computing of Industrial Internet of Things Based on SDN

曹童杰,李丕范,刘中国(中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048)

Cao Tongjie, Li Pifan, Liu Zhongguo (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China)

摘要:

工业物联网(IIOT)作为工业互联网中的重要一环,是工业数字化转型的必经之路。5G 依靠其高带宽、低时延、广连接等特性,衍生了多层多址边缘计算(mMEC)技术,加快推进了工业物联网的落地。将软件定义网络(SDN)引入到IIOT和mMEC中,提出了一种基于SDN的边缘云交互和边缘计算任务卸载方法,帮助处理IIoT环境中的流式大数据。

关键词:

工业互联网;边缘计算;SDN;任务卸载

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2021.07.005

文章编号: 1007-3043(2021)07-0019-05

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

As an important part of industrial Internet, the Industrial Internet of Things (IIOT) is the only way for industrial digital transformation. Relying on its characteristics of high bandwidth, low latency, and wide connectivity, 5G derives multi-layer multi-access edge computing (mMEC) technology and accelerates the implementation of the Industrial Internet of Things. Software-defined networking (SDN) is introduced into IIoT and mMEC, and edge cloud interaction and edge computing task unloading method based on SDN is proposed to help deal with streaming big data in the IIoT environment.

Keywords:

Industrial Internet; Edge computing; SDN; Task offloading

引用格式: 曹童杰,李丕范,刘中国. 基于SDN架构的工业互联网多层多址边缘计算[J]. 邮电设计技术, 2021(7): 19-23.

0 引言

工业互联网的高速发展对建立强大的云计算范式提出了要求^[1]。自2000年以来,云计算范式在总体使用、规模、计算能力和基础技术方面都有了重大突破,云服务的市场也有了巨大的增量^[2]。美国国家标准技术研究院(NIST)列出了云计算的5个基本属性^[3]:按需自助服务、广泛的网络访问、资源池、快速弹性、实测服务。这也是其在学术界和行业中广泛应用的重要支撑点。但是,随着IIOT的出现,传统的云计算

方式已无法满足海量终端设备的需求^[4],云上实时数据存储、访问和处理成为了亟待解决的难题。此外,庞大的数据中继到云基础架构可能会给数据传输带来压力,造成网络拥堵,进一步导致等待时间延长^[5],降低各种应用程序的整体服务质量(QoS)^[6]。

1 边缘计算

为了解决上述问题,“边缘计算”^[7]的创新概念被大量应用在云计算中,它可以被理解为“靠近地面的云”^[8]。其通过边缘设备,利用支持纳米数据中心(nDC)^[9]和微型DC(mDC)形式的机器对机器、设备对设备的交互,实现了网络边缘的计算和处理能力。这

收稿日期: 2021-06-16

些设备分布广泛,能够支持实时数据处理,大大降低了设备数据中继到核心的需求^[10]。边缘计算与云计算的对比如表1所示。

表1 边缘计算与云计算的对比

对比项	云计算	边缘计算
架构	集中式	分布式
数据处理	云处理	边缘处理
节点位置	数据中心	边缘网络
目标应用	普通应用	物联网应用
网络通信	广域网	4G/5G、无线局域网
服务类型	远程服务	本地服务
计算能力	较强	一般
安全隐私	风险较高	风险较低
网络延迟	高	低
实时性	较差	立即响应

工业互联网的控制命令必须很精准,因此网络对时延和可靠性非常敏感^[11]。将计算能力推向网络边缘侧是工业互联网的必然发展趋势。5G和其衍生的多层多址边缘计算(Multi-tier Multi-access Edge Computing, MMEC)^[12]能够很好地满足低时延、高可靠的要求。

如图1所示,边缘计算的分层体系结构包括核心计算设备、目标功能与需求、网络设备、边缘计算设备、访问方式、应用程序和用户、终端设备7层^[13]。用户通过不同的访问技术(如3G、4G^[14]、5G^[15]、Wi-Fi^[16]、蓝牙^[17])连接到计算平台,按需访问不同的应用程序。

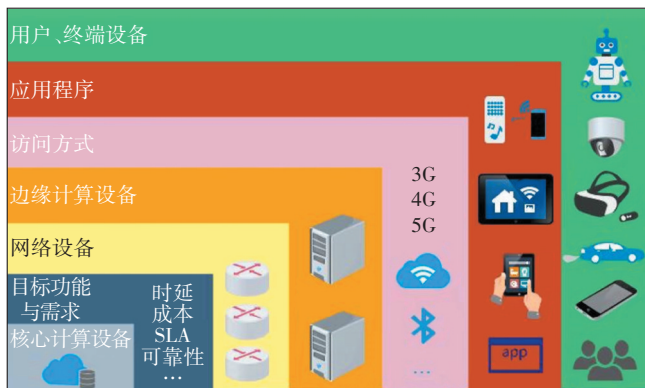


图1 边缘计算的分层体系结构

接下来,数据会通过访问技术将用户应用程序/服务请求中继到附近的nDC和mDC,成为边缘计算设备的组成部分。由于边缘侧设备的计算能力有限,该架构会将计算密集型请求转发到核心计算层,通过路

由器和交换机等网络设备路由到核心计算设备,进行下一步处理。整个计算体系倾向于根据服务等级协议(Service-Level Agreement, SLA)^[18]结构性地解决不同的目标。目标功能与需求包括最小化能量、等待时间、成本和最大化可用性、吞吐量。

边缘计算可以在时延、地理分布和移动性支持方面逐步满足大规模移动服务的需求^[19],但如果不考虑能源效率,边缘设备可能会消耗大量能量。此外,为了提供低时延和高数据速率,nDC的能耗可能会激增^[20]。

研究人员对nDC和集中式DC的能耗进行了对比研究。考虑到系统设计中的各种因素,例如访问网络的类型和服务器时间利用率,研究发现,与nDC和集中式DC的能耗相比,多层多址边缘云协作能够进一步节能^[21]。

云与边缘之间的协作和影响主要有以下几方面。

- a) 边缘设备上的资源限制要求转移云DC上的主要负载。
- b) 边缘节点上的资源超载可能导致更高的能耗。
- c) 在边缘和云DC之间对延迟敏感且面向资源的需求进行分类可以提高性能并降低能耗。
- d) 由于丢失链路的可追溯性,边缘设备的移动性是能源消耗的挑战。
- e) 边缘和云设备之间的大量迁移和通信给基础网络带来了额外的负担。

为在平衡延迟和功耗的基础上,最大程度地减少能耗^[22],本文提出了多层多址边云一体协同架构,如图2所示。

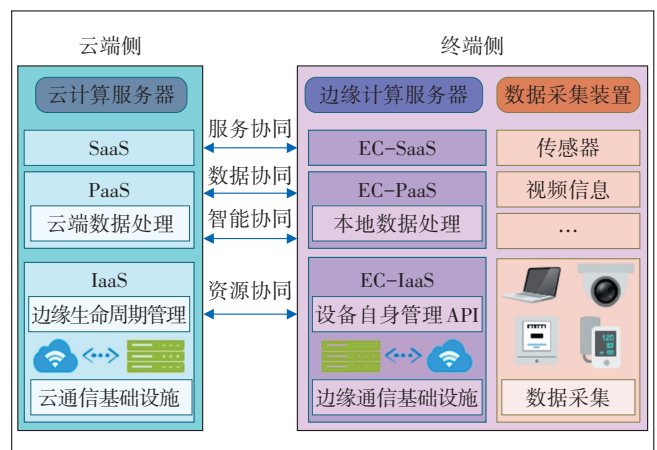


图2 边云协同计算的内部构架

服务协同:边缘节点根据从云端下沉的算法决

策,实现本地的SaaS服务,并将特殊数据和非实时性的服务上传至云端,云端接收非实时性数据,更新知识库,调整算法模型和边缘节点的分布,提供SaaS服务。

数据协同:边缘节点具有数据采集装置,能收集本地信息、进行简单的数据分析,并将分析结果和特殊信息数据(如故障点)上传至云端。云端有海量存储和大数据分析的能力,能了解整体的环境变化并对边缘节点做出指导。数据在边缘节点和云上有序流动,形成完整的数据流动路径,极大地提高了挖掘有价值数据的效率。

智能协同:边缘节点内部部署的AI模型和算法来自于云端,基于这些算法,分布式边缘节点可以快速响应周围环境变化并做出判断;云端是集中式的模型训练,收集边缘节点的数据,不断更新知识库,更新算法模型并下沉至边缘节点,提高边缘节点的分析速度和准确性。

资源协同:边缘节点集成了计算、存储、通信等功能,可以在本地提供资源调度、监测、生命周期管理等能力;云端与边缘节点协同,提供设备管理、资源管理、网络连接管理等资源调度的策略。

多层多址边缘云一体架构依赖于网络层的支持,效率低下的网络可能导致过多的能源消耗和高时延。此外,基于标准协议和体系结构的传统网络的依赖性也是实现边缘云一体的挑战之一。因此,需要一种可编程的、可扩展的、灵活独立、可重新配置的网络体系结构来处理边缘和云设备之间的大量流量信息,以提高性能,降低能耗。

2 软件定义网络架构

本文提出了一种动态资源供应方案,用于云和边缘之间的能源感知相互作用,使用软件定义网络(Software Defined Network, SDN)^[23]来最大程度地减少边缘和云之间的基础网络的能耗,处理多层多址边缘云环境中的网络拥塞问题。

在SDN中,数据平面和控制平面彼此分离,以降低网络拥塞和复杂性^[24-25]。因此,SDN是多层多址云环境中可行的网络技术。通常,SDN中的通信基础结构根据开放网络基金会(Open Networking Foundation, ONF)^[26]设计的标准工作。OpenFlow协议用于处理SDN中的流量^[27]。网络主干网络的范围可以从3G、4G、5G到Wi-Fi和蓝牙^[28]。

数据平面:所有转发设备(FD)都位于此平面中,FD根据驻留在控制平面中的控制器做出的转发决策来运行,并使用数据控制平面接口将所有此类决策配置到FD的流表中。

控制平面:控制平面是SDN架构的核心,也叫决策平面。该平面根据提供给控制器的控制逻辑进行工作。所有转发决策均由控制器决定,并添加到该平面的指令集中。此外,控制器还可以使用网络操作系统通过管理程序创建虚拟控制器^[29]。SDN的最重要特征之一是可以根据不同的环境对控制逻辑进行编程和重新配置^[30]。因此,本文利用SDN的这一特性,提出了一种流管理方案,该方案有效平衡了多层多址边缘云一体结构的能效、带宽和时延,具体如图3所示。

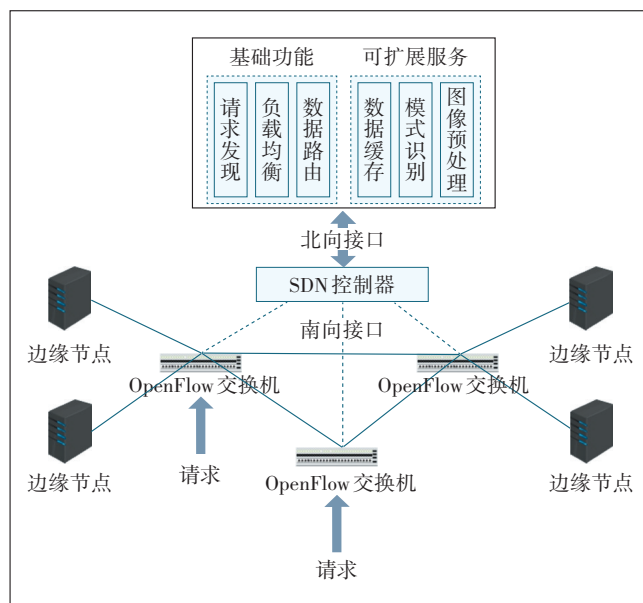


图3 基于SDN的边缘计算架构

3 基于SDN的工业互联网多层多址边缘计算

针对工业互联网,本文提出了一种基于SDN的工业互联网多层多址边缘计算架构,如图4所示。

此架构的底层为机械臂、车床、传送带、移动设备等工业设备和传感器,传感器收集到的信息通过AP接入到数据传输层的边缘交换机中,控制器会将计算任务需求上传到SDN控制器中,并执行计算卸载决策。

边缘计算服务平台包含边缘服务器和缓存节点,控制器将计算量较小的任务卸载到边缘节点,计算量

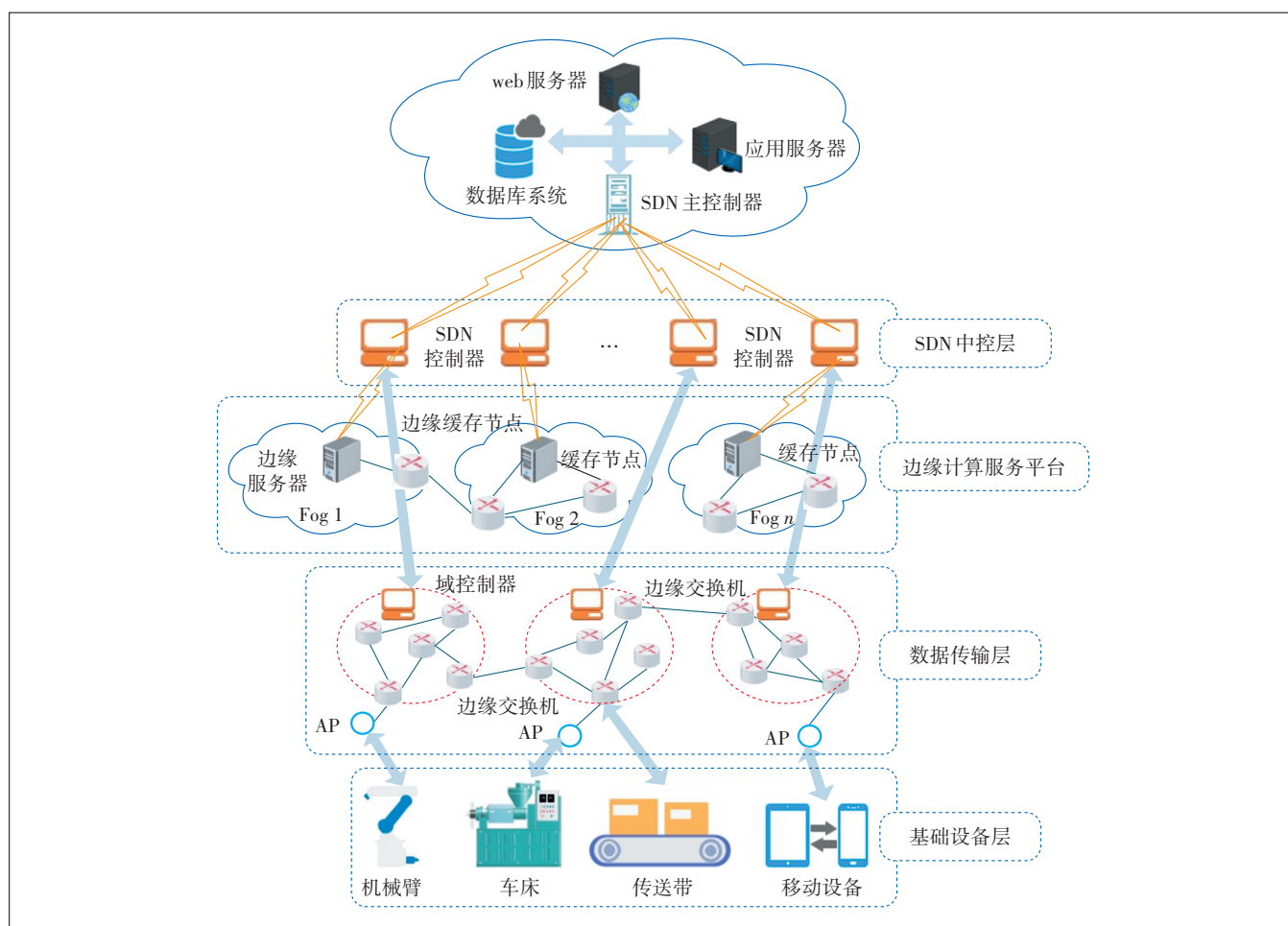


图4 基于SDN的工业互联网多层多址边缘计算架构

较大的任务上传云服务器,能够有效提高计算效率,降低时间成本。缓存节点用于存储高频次请求任务,避免重复计算和分配请求,减少网络堵塞可能性。任务卸载决策和计算节点的编排由SDN控制器决定。其工作流程如图5所示。

根据工业互联网的特性,本文提出一种基于ASO算法的任务卸载方法^[31-33],包含截止时间分配子算法(Sub-deadline Allocation, SDA)、拓扑排序算法(Topology Sorting, TS)和任务卸载算法(Task Offloading, TO)3个子算法。这种卸载算法是一种多项式时间分流算法,在进行任务卸载决策时会优先考虑边缘计算层,只有当本地的多层多址边缘计算资源均不能满足计算要求时,才会将任务卸载至云计算层。该算法通过SDA算法将工业应用的截止时间分配给各个任务,以此对任务进行拓扑排序;除此之外,还会综合考虑能耗和成本,根据每个任务的期限合理分配任务。与普通启发式算法相比,该算法能够更合理地对计算任务

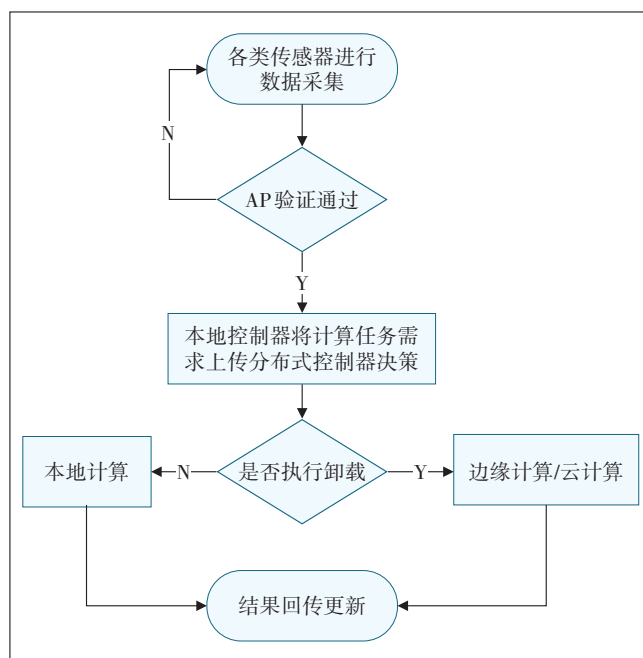


图5 计算卸载流程

进行卸载,更好地平衡计算任务的时延和能耗。

4 结语

本文提出了一种基于SDN的工业互联网多层多址边缘云一体架构,以处理边缘与云设备之间的协同合作和计算任务卸载。该架构使用了边缘云协同,复杂任务在云侧处理,简单任务在边缘侧处理,有效平衡了计算任务的时延、带宽和能耗,利用SDN提供有效的中间件支持,帮助处理IIoT环境中的流式大数据。最后提出一种边任务卸载方法,并说明了其性能和优势。

参考文献:

- [1] 金小敏,滑文强. 移动云计算中面向能耗优化的资源管理[J]. 计算机科学,2020,47(6):247-251.
- [2] 李桂君,寇晨欢,胡军,等. 云服务资源调度机制的协同与优化研究[J]. 系统科学与数学,2020,40(8):1365-1383.
- [3] BADSHAH A, GHANI A, SHAMSHIRBAND S, et al. Performance-based service level agreement in cloud computing to optimize penalties and revenue[J]. IET Communications, 2020, 14(7): 1102-1112.
- [4] ZHANG Y, LIU H P, ZHANG Z G, et al. Cloud computing-based real-time global optimization of battery aging and energy consumption for plug-in hybrid electric vehicles [J]. Journal of Power Sources, 2020, 479: 229069.
- [5] XU J L, ZHANG Z X, HU Z M, et al. A many-objective optimized task allocation scheduling model in cloud computing[J]. Applied Intelligence, 2021, 51(6): 3293-3310.
- [6] GHAHRAMANI M H, ZHOU M C, HON C T. Toward cloud computing QoS architecture: analysis of cloud systems and cloud services [J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2017, 4(1): 6-18.
- [7] 施巍松,张星洲,王一帆,等. 边缘计算:现状与展望[J]. 计算机研究与发展,2019,56(1):69-89.
- [8] 喻国明,李凤萍. 5G时代的传媒创新:边缘计算的应用范式研究[J]. 山西大学学报(哲学社会科学版),2020,43(1):65-69.
- [9] 李丹,陈贵海,任丰原,等. 数据中心网络的研究进展与趋势[J]. 计算机学报,2014,37(2):259-274.
- [10] ZHANG P, DURRESI M, DURRESI A. Multi-access edge computing aided mobility for privacy protection in Internet of Things [J]. Computing, 2019, 101: 729-742.
- [11] 王赞,陈光,董晓,等. 基于工业互联网的智慧能源服务系统架构研究[J]. 电力系统保护与控制,2020,48(3):77-83.
- [12] QIN Z, LIAO Y X, SHEN D J. Multi-MEC server multi-user resource allocation in heterogeneous network [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1792: 012005.
- [13] 雷波,刘增义,王旭亮,等. 基于云、网、边融合的边缘计算新方案:算力网络[J]. 电信科学,2019,35(9):44-51.
- [14] DAHLMAN E, PARKVALL S, SKÖLD J. 4G - LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband [M]. Pittsburgh: Academic Press, 2013.
- [15] 尤肖虎,潘志文,高西奇,等. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学:信息科学,2014,44(5):551-563.
- [16] 李晓阳. Wi-Fi 技术及其应用与发展[J]. 信息技术,2012(2): 196-198.
- [17] 王洪峰,贾志军,王曙光,等. 蓝牙技术及其应用展望[J]. 电力自动化设备,2002,22(1):75-77.
- [18] 张健. 云计算服务等级协议(SLA)研究[J]. 电信网技术,2012(2):7-10.
- [19] 代美玲,刘周斌,郭少勇,等. 基于终端能耗和系统时延最小化的边缘计算卸载及资源分配机制[J]. 电子与信息学报,2019,41(11):2684-2690.
- [20] SATYANARAYANAN M. The emergence of edge computing [J]. Computer, 2017, 50(1): 30-39.
- [21] 徐西建,王子磊,奚宏生. 基于深度强化学习的流媒体边缘云会话调度策略[J]. 计算机工程,2019,45(5):237-242,248.
- [22] 崔羽飞,张云勇,张第,等. 基于云边协同的工业互联网实践[J]. 电信科学,2020,36(2):109-116.
- [23] 王蒙蒙,刘建伟,陈杰,等. 软件定义网络:安全模型、机制及研究进展[J]. 软件学报,2016,27(4):969-992.
- [24] FU T, HU L, WANG F. Survey on Performance Evaluation for Mobile Edge Computing Combined with SDN Networks [J]. Journal of Jilin University (Information Science Edition), 2018.
- [25] LI M, YU F R, SI P B, et al. Energy-Efficient Machine-to-Machine (M2M) communications in virtualized cellular networks with Mobile edge computing (MEC) [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2019, 18(7): 1541-1555.
- [26] 周琪. 软件定义网络--网络新范式[J]. 电脑与电信,2013(8):5-7.
- [27] 左青云,陈鸣,赵广松,等. 基于OpenFlow的SDN技术研究[J]. 软件学报,2013(5):1078-1097.
- [28] HU F, HAO Q, BAO K. A survey on Software-Defined network and OpenFlow: from concept to implementation [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(4): 2181-2206.
- [29] 李庆,刘金娣,李栋. 面向边缘计算的工业互联网工厂内网络架构及关键技术[J]. 电信科学,2019,35(S2):160-168.
- [30] 叶恒宇. 基于软件定义工业互联网的边缘计算技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2019.
- [31] 薛建彬,丁雪乾,刘星星. 缓存辅助边缘计算的卸载决策与资源优化[J]. 北京邮电大学学报,2020,43(3):32-37.
- [32] 史晨华. 基于边缘计算的5G低时延高可靠业务卸载策略研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2018.
- [33] 陈爽. 5G移动边缘计算下的任务卸载方法研究[D]. 北京:北京信息科技大学,2021.

作者简介:

曹童杰,毕业于东华大学,工程师,硕士,主要从事矿山能源领域数字化转型工作;李丕范,毕业于厦门大学,工程师,硕士,主要从事矿山能源领域数字化转型工作;刘中国,毕业于厦门大学,工程师,硕士,主要从事矿山能源领域数字化转型工作。