

基于交通流量预测的车联网双边拍卖边缘计算迁移方案

林艳¹, 闫帅^{1,2}, 张一晋¹, 李春国³, 束锋⁴

(1. 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094; 2. 中国科学技术大学信息科学技术学院, 安徽 合肥 230027;
3. 东南大学信息科学与工程学院, 江苏 南京 210096; 4. 海南大学信息与通信工程学院, 海南 海口 570228)

摘要: 为同时提升车辆的计算迁移率和边缘计算服务器的资源利用率, 提出了一种基于交通流量预测的车联网边缘计算迁移方案。首先通过设计考虑任务优先级的计算迁移率和资源利用率效用函数, 将问题建模为双目标优化问题; 然后将问题转化为车辆与边缘计算服务器之间的资源双边拍卖问题, 再通过设计交通流量信息感知的报价函数, 采用 McAfee 拍卖算法, 进而完成边缘计算迁移。仿真结果表明, 通过交通流量预测信息的辅助, 所提方案能有效提高车联网的边缘计算迁移率和资源利用率。

关键词: 车联网; 移动边缘计算; 交通流量预测; 任务卸载; 双边拍卖

中图分类号: TN915

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-436x.2020252

Flow-of-traffic prediction program based mobile edge computing for Internet of vehicles using double auction

LIN Yan¹, YAN Shuai^{1,2}, ZHANG Yijin¹, LI Chunguo³, SHU Feng⁴

1. School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China
2. School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China
3. School of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China
4. School of Information and Communication Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China

Abstract: With an aim of maximizing the efficiency of edge offloading and the resource utilization of edge computing server simultaneously, a new flow-of-traffic prediction based edge computing offloading solution was proposed for Internet of vehicles (IoV). Firstly, both the efficiency utility function of vehicle and the resource utilization of mobile edge computing (MEC) server were established by considering task priority. Next, the formulated dual-objective optimization problem was transformed into a double auction problem between vehicles and MEC servers. Finally, based on the designed flow-of-traffic based pricing function of vehicle and MEC server, a McAfee auction algorithm was adopted to complete the edge computing process. Simulation results show that benefiting from the flow-of-traffic prediction information, the proposed solution can significantly improve both the efficiency of computation offloading and the utilization of computation resource.

Key words: Internet of vehicles, mobile edge computing, flow-of-traffic prediction, task offloading, double auction

收稿日期: 2020-09-14; 修回日期: 2020-11-18

通信作者: 束锋, shufeng0101@163.com

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.62001225, No.62071236, No.61941115, No.62071234, No.61771244); 江苏省自然科学基金资助项目 (No.BK20190454); 中央高校基本科研专项基金资助项目 (No.30919011227, No.30920021127)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.62001225, No.62071236, No.61941115, No.62071234, No.61771244), The Natural Science Foundation of Jiangsu Province (No.BK20190454), The Fundamental Research Funds for the Central Universities (No.30919011227, No.30920021127)

1 引言

近年来,车联网^[1]作为汽车、电子、信息通信、交通管理等行业深度融合的新型产业形态,在人工智能和信息通信技术的推动下向着智能化、网联化方向演进,成为经济和社会新的增长点。在移动边缘计算^[2-4]技术的赋能下,车联网可支撑高精度地图和复杂交通情况等相关数据的处理和分析,为智能驾驶、无人驾驶等应用提供高可靠、低时延的服务。针对具有高算力需求和低时延约束的车联网衍生业务,车辆用户由于自身计算能力有限,会要求将其关联的计算任务卸载至具有更高算力的邻近边缘服务器完成计算迁移。因此,在智能交通的发展趋势下,车联网中的边缘计算迁移具有强劲的技术发展需求^[5-7]。

相较于传统蜂窝网络的边缘计算迁移,车联网的高密度、高动态环境对边缘计算迁移的应用提出了重大挑战。一方面,动态的交通流量使网络拓扑结构不断发生变化,从而导致边缘计算迁移决策复杂化;另一方面,当大量车辆同时涌入某路段时,容易造成邻近的边缘服务器负载过多而较远的边缘服务器空闲的情况出现,且车辆在排队等待服务过程中可能已经移动至该边缘服务器的服务范围之外。因此,如何针对动态变化的交通流量,合理利用有限的计算资源来提高边缘计算迁移率成为车联网中亟待解决的关键技术问题。

针对上述问题,国内外研究学者提出了一系列车联网边缘计算迁移方案。为了合理利用边缘服务器计算资源,文献[8]针对固定交通流量的场景设计了一种适用于多用户多边缘计算服务器场景下的联合负载均衡和任务卸载方案,保证了各服务器之间有关任务处理时延的公平性,但该方案不适用于动态变化的交通场景。文献[9]研究基于路侧单元调度的合作博弈计算迁移方案,有效提高了计算资源利用率,但未考虑交通环境变化对资源利用率的影响。文献[10]考虑在计算资源负载不均的情况下,利用遗传算法实现对不同优先级的计算任务执行迁移策略,进而提高了边缘计算迁移率,但未考虑对边缘计算资源的充分利用。特别地,文献[11]考虑多用户竞争有限计算资源的情况下,设计了一种基于单边拍卖模型的计算迁移方案,以同时降低计算任务服务时延和能量消耗,但该卸载方案仍未考虑边缘服务器端的计算资源利用率。除此之外,针

对车联网高动态网络环境,文献[12-16]提出一系列基于强化学习的边缘计算迁移方案,旨在最大化车联网系统的长期收益(如时延、能耗等),同时满足多样化的车联网应用需求,但未考量计算资源利用率的问题。根据上述文献可知,尚未有研究考虑交通流量的动态变化对边缘计算迁移性能的影响。

本文的研究目标是探索如何利用交通流量预测信息来辅助设计车联网的边缘迁移方案,同时实现边缘计算迁移率和资源利用率的最大化。在此目标下,本文首先以城市车联网为例,分别建立了边缘计算迁移模型和交通流量预测模型;其次,设计考虑任务优先级且表征计算迁移率和计算利用率的效用函数,以及建立对应的双目标优化问题;再次,通过结合双边拍卖理论,将问题转化为车辆与边缘计算服务器之间的资源拍卖问题,再通过分别设计车辆与边缘计算服务器的报价函数,采用 McAfee 拍卖算法,进而完成边缘计算迁移;最后,通过仿真验证所提方案可以同时显著提升边缘计算迁移率和资源利用率。

2 系统模型

2.1 网络模型

考虑如图 1 所示的城市车联网模型,该模型包含由 4 个双向多车道路段组成的十字交叉路口,每个路段上有若干移动车辆匀速行驶。各路段上等间隔均匀部署 N 个路侧单元(RSU, road side unit),每个 RSU 均配置一个车联网边缘计算(VEC, vehicular edge computing)服务器,负责为本路段车辆同时提供通信和计算资源。

假设系统可划分为等间隔的资源分配周期,且在每个周期内有随机数量的车辆进入各路段。在总周期内,进入各路段的车辆总数记为 M 。假设每辆车仅携带一个计算任务。由于车辆计算能力有限,故需要将其计算任务卸载至邻近的 RSU 来完成计算。为此,车辆首先需要与 RSU 通信请求获取计算资源,然后 RSU 之间通过宏基站进行信息交互并获取资源分配方案,最后车辆依据分配方案完成任务卸载。

2.2 任务卸载模型

假设车辆的计算任务由计算任务的数据量大小、任务优先级、计算资源需求量大小等特征表征。本文考虑的车辆边缘计算迁移过程可分为以下 4 个阶段。

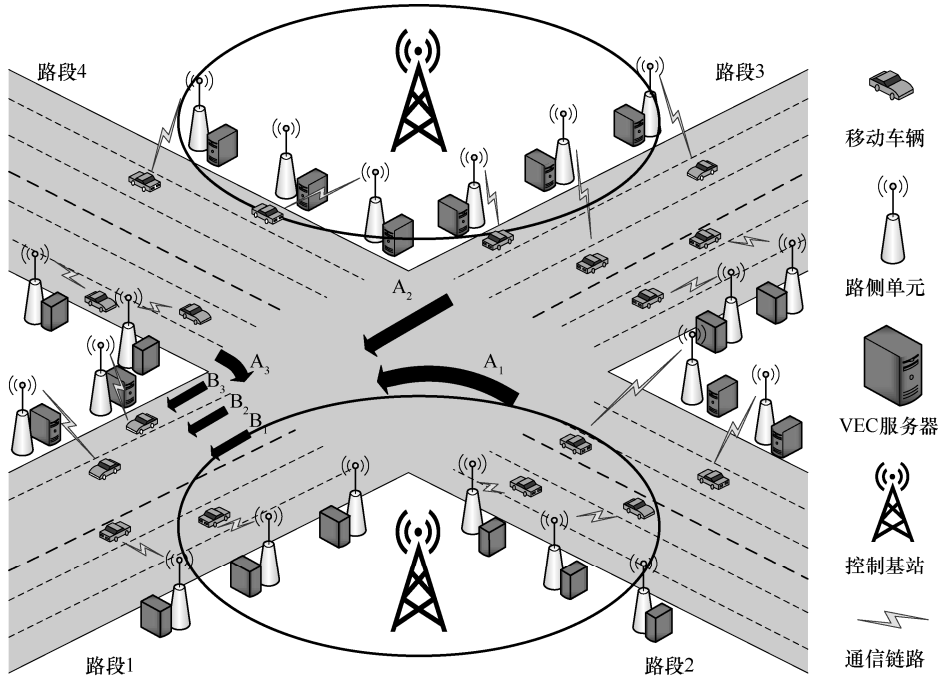


图 1 城市车联网系统模型

1) 车辆移动。由于 RSU 的通信覆盖范围有限，车辆需要移动至指定的 RSU 覆盖范围内，才可将其任务卸载至对应的 VEC 服务器上完成计算迁移。当车辆 i 需移动至 RSU j 处完成任务卸载时，车辆的移动时间 T_{ij}^{move} 可表示为

$$T_{ij}^{move} = \frac{L_{ij}}{v_i} \quad (1)$$

其中， L_{ij} 表示当前车辆 i 移动至 RSU j 覆盖范围内所需移动距离， v_i 表示车辆 i 的速度。

2) 任务上传。当车辆 i 已在 RSU j 的覆盖范围内时，车辆可将计算任务上传给对应的 VEC 服务器 j 。本文假设多用户干扰已通过正交频复用技术消除，且车辆在任务上传时间内无线信道状态保持稳定^[17]。考虑计算任务数据量大小动态变化的情况，比如服从均匀分布 $U[300, 1\ 000]$ 。此时，当车辆 i 将数据量大小为 D_i KB 的计算任务上传至 RSU j 所消耗的时间 T_{ij}^{tran} 可表示为

$$T_{ij}^{tran} = \frac{D_i}{B \ln \left(1 + \frac{P_i G_{ij}}{\sigma^2} \right)} \quad (2)$$

其中， B 表示无线传输链路带宽， P_i 表示车辆 i 的发射功率， G_{ij} 表示车辆 i 与 RSU j 之间的信道增益， σ^2 表示加性高斯白噪声的功率。

3) 任务执行。假设 VEC 服务器 j 的计算能力

可用 CPU 速率 U_j 表征，即服务器计算单位比特数据时所需 CPU 运转周期数。另外，车辆 i 对计算资源的需求量 s_i 表示车辆单位时间内对 CPU 运转周期的需求量，假设计算资源需求量动态变化，比如服从均匀分布 $U[0.5, 1.5]$ 。于是，车辆 i 的计算任务在分配的 VEC 服务器 j 上执行计算所消耗的时间 T_{ij}^{com} 为

$$T_{ij}^{com} = \frac{D_i U_j}{s_i} \quad (3)$$

4) 结果反馈。当 VEC 服务器执行完任务，需将任务执行的结果反馈至关联车辆。但由于计算结果数据量一般较小，相较于任务上传和任务执行。其反馈时间较短^[6]，故本文忽略结果反馈占用的时间。

在上述完整在任务卸载过程中，车辆 i 经过 T_{ij}^{move} 时间移动至分配的 VEC 服务器 j 之后，对 VEC 服务器 j 的占用时间 T_{ij}^{occupy} 可表示为

$$T_{ij}^{occupy} = T_{ij}^{tran} + T_{ij}^{com} = \frac{D_i}{B \ln \left(1 + \frac{\sigma^2}{P_i G_{ij}} \right)} + \frac{D_i U_j}{s_i} \quad (4)$$

2.3 交通流量预测模型

在交通网络中，平均交通流量和平均车速作为主要参数，表现出强烈的随机性和不确定性，本文考

考虑利用马尔可夫决策过程理论建立交通流量预测模型^[18], 为车联网提供有力的边缘迁移决策依据。

假设各 RSU 负责统计交通流量信息, 即单位时间周期内通过该 RSU 所在路段的不同车道的车辆数。以图 1 中的路段 1 为例, 该路段第 t 个资源分配周期内表征各方向车辆数的向量 $V^{(t)}$ 可表示为

$$V^{(t)} = [V_l^t V_s^t V_r^t] \quad (5)$$

其中, V_l^t 、 V_s^t 和 V_r^t 分别表示本周期内该路段左转、直行和右转车道的车辆数。

接下来, 根据上述交通流量信息, 可以获得车辆状态转移的规律。驶入路段 1 的车辆在驶入前的来源车道包括左转车道 A_1 、直行车道 A_2 和右转车道 A_3 , 分别以一定的概率驶入左转车道 B_1 、直行车道 B_2 和右转车道 B_3 。路段 1 的交通流量转移关系如表 1 所示。

表 1 路段 1 的交通流量转移关系

所在车道	驶入车道	转移关系
A_1	B_1	V_{11}
	B_2	V_{12}
	B_3	V_{13}
A_2	B_1	V_{21}
	B_2	V_{22}
	B_3	V_{23}
A_3	B_1	V_{31}
	B_2	V_{32}
	B_3	V_{33}

其中, V_{km} 表示当前周期内进入路段 1 的所有车辆中从车道 A_k 转入车道 B_m 的车辆数, $k=1,2,3$ 。

根据表 1, 可以得到转移概率矩阵 P 为

$$P = \begin{bmatrix} \frac{V_{11}}{V_{11} + V_{12} + V_{13}} & \frac{V_{12}}{V_{11} + V_{12} + V_{13}} & \frac{V_{13}}{V_{11} + V_{12} + V_{13}} \\ \frac{V_{21}}{V_{21} + V_{22} + V_{23}} & \frac{V_{22}}{V_{21} + V_{22} + V_{23}} & \frac{V_{23}}{V_{21} + V_{22} + V_{23}} \\ \frac{V_{31}}{V_{31} + V_{32} + V_{33}} & \frac{V_{32}}{V_{31} + V_{32} + V_{33}} & \frac{V_{33}}{V_{31} + V_{32} + V_{33}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

假设下一周期的车辆转移概率保持不变, 且下一周期各来源车道的车辆数与当前周期目标路段各车道的车辆数对应相等。依据马尔可夫决策过程, 则可以预测下一周期目标路段的交通流量 $V^{(t+1)}$ 为

$$[V_l^{t+1} \ V_s^{t+1} \ V_r^{t+1}] = [V_l^t \ V_s^t \ V_r^t] \cdot \begin{bmatrix} \frac{V_{11}}{V_{11} + V_{12} + V_{13}} & \frac{V_{12}}{V_{11} + V_{12} + V_{13}} & \frac{V_{13}}{V_{11} + V_{12} + V_{13}} \\ \frac{V_{21}}{V_{21} + V_{22} + V_{23}} & \frac{V_{22}}{V_{21} + V_{22} + V_{23}} & \frac{V_{23}}{V_{21} + V_{22} + V_{23}} \\ \frac{V_{31}}{V_{31} + V_{32} + V_{33}} & \frac{V_{32}}{V_{31} + V_{32} + V_{33}} & \frac{V_{33}}{V_{31} + V_{32} + V_{33}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

3 问题描述

本文的研究目标是探索利用交通流量预测信息设计一种计算迁移方案, 使车辆计算任务完成率最大化, 同时使 VEC 服务器的计算资源利用率最大化。为了量化评价车辆计算任务完成率以及 VEC 服务器的利用率, 本文定义以下性能指标。

1) 车辆效用函数

为便于建模, 本文将整个资源分配过程的总时间 T 划分为有限个单位时间间隔 Δt , 且假设每辆车占用 VEC 服务器计算资源的时间为 Δt 的整数倍。设 $x_{i,j,t}$ 为卸载决策变量, 表征在第 t 个 Δt 内车辆 i 是否将任务卸载至 VEC 服务器 j , $x_{i,j,t}=1$ 表示卸载, $x_{i,j,t}=0$ 表示未卸载。车辆 i 的计算任务被执行完之后产生的效益值表示为 R_i 。一方面, 该效益值与任务的数据量大小 D_i 和优先级 N_i^V 有关, 即数据量越大, 优先级越高, 其效益值越高。另一方面, 车辆 i 在任务上传前的等待时间 T_{ij}^{wait} 可表示为

$$T_{ij}^{\text{wait}} = \begin{cases} T_{ij}^{\text{move}}, x_{i,j,t} = 1 \\ T, x_{i,j,t} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

车辆的等待时间越长, 产生的效益值越低。因此, 效益值可表示为 $R_i = \frac{D_i N_i}{T_{ij}^{\text{wait}}}$ 。通过对所有路段中

的车辆特征信息进行统计, 为量化表征车辆任务卸载所产生的效益值, 本文将车辆任务卸载的效用函数 U_v 定义为成功卸载任务的车辆产生的效益与所有车辆任务可产生效益的比值, 如式(9)所示。

$$U_v \triangleq \frac{\sum_{i,j,t} x_{i,j,t} \frac{D_i N_i}{T_{ij}^{\text{wait}}}}{\sum_{i,j} \frac{D_i N_i}{T_{ij}^{\text{wait}}}} \quad (9)$$

2) VEC 服务器效用函数

在 VEC 服务器计算资源有限的条件下, 如何为多车辆设计任务卸载方案的问题可以转换成如

何为多车辆分配计算资源的问题。假设 VEC 服务器 j 可提供的计算资源量 C_j 可表征为单位时间内可提供的 CPU 运转周期数。为了充分利用 VEC 服务器的计算资源，本文采用一种计算资源的时间复用方案，即在 VEC 服务器可提供的最大计算资源量约束条件下，允许不同车辆在相同时间将计算任务卸载至同一个 VEC 服务器。设 $C_{j,t}$ 为 VEC 服务器 j 在第 t 个时间间隔 Δt 内持有的计算资源量，因此，通过统计 VEC 服务器计算资源的分配情况，为量化表征 VEC 服务器的计算资源的利用率，本文将 VEC 服务器资源效用函数 U_E 定义为执行任务卸载的 VEC 服务器实际产生的效益与所有服务器计算资源所能产生效益的比值，表示为

$$U_E \triangleq \frac{\sum_{i,j,t} \frac{x_{i,j,t} s_i N_i}{T_{ij}^{\text{wait}}}}{\sum_{j,t} \frac{C_{j,t} \bar{N}}{T^{\text{wait}}}} \quad (10)$$

其中， \bar{N} 和 $\overline{T^{\text{wait}}}$ 分别表示所有车辆的平均优先级和平均等待时间。

3) 优化问题建立

为了同时最大化车辆任务卸载产生的效益值和 VEC 服务器的利用率，本文研究的优化问题可以构建为

$$\begin{aligned} \max \quad & U = [U_V(\mathbf{X}), U_E(\mathbf{X})] \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^M x_{i,j,t} s_i \leq C_{j,t}, \forall i, \forall j, \forall t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N x_{i,j,t} &\leq 1, \forall i, \forall j, \forall t \\ x_{i,j,t} &\in \{0,1\}, \forall i, \forall j, \forall t \end{aligned} \quad (11)$$

其中， $\mathbf{X} = [x_{i,j,t}]_{\substack{vi \in \{1, \dots, M\}, \\ j \in \{1, \dots, N\}, \\ t \in \{1, \dots, \frac{T}{\Delta t}\}}}$ 表示所有车辆的卸载决策。式(11)保证任意 VEC 服务器在任一时间间隔 Δt 内被车辆占用的计算资源量不超过该服务器的资源总量，且保证每辆车最多只能将其计算任务卸载至一个 VEC 服务器。

4 边缘迁移双边拍卖方案设计

上述建立的优化问题属于多目标 0-1 规划问题，且属于 NP-hard 问题。考虑到车联网中车辆与 VEC 服务器之间属于一种“多对多”的供求关系，故可以利用拍卖理论^[19-20]构建成双边拍卖问题，如图 2 所示。具体而言，双边拍卖过程包含资源供应商代理、资源消费者代理和拍卖管理者 3 类参与者，其中资源供应商代理和资源消费者代理分别为 VEC 服务器和车辆，拍卖管理者为区域内的宏基站。宏基站将按照给定的拍卖策略，促成供应商和消费者在交易资源的价格上达成一致，最终完成交易。下面将详细介绍边缘迁移双边拍卖算法。

4.1 算法描述

本文采用拍卖理论中经典的 McAfee 拍卖算法^[20]来设计求解方案。McAfee 拍卖算法的基本思想是将消费者、供应商报价分别进行降序、升序排列，找出临界用户，并将其报价作为实际交易价格。为

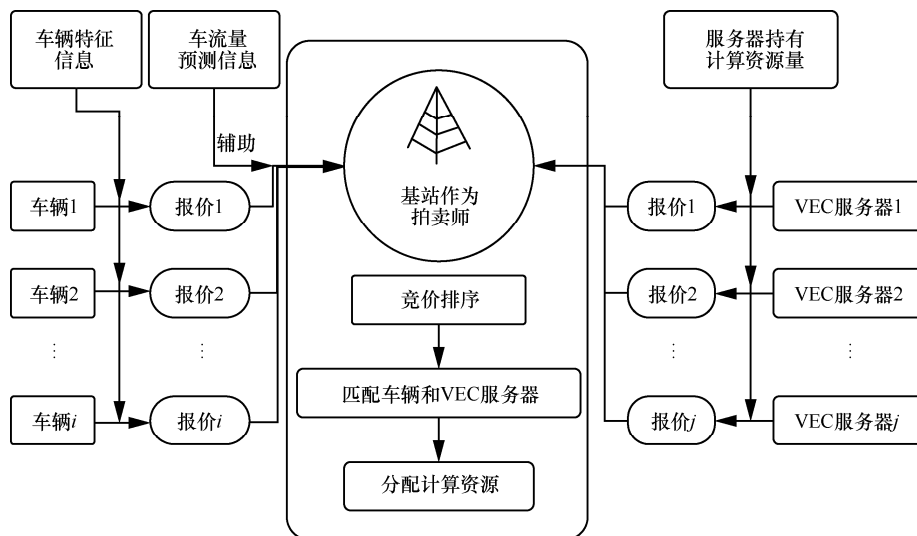


图 2 边缘迁移双边拍卖方案

此, 需要先分别设计车辆端和 VEC 服务器端的报价, 然后对报价排序, 再根据报价分配服务器的计算资源。

1) 车辆报价

车辆的报价与自身的特征信息有关。在本文的模型中, 车辆 i 的特征信息包括计算任务数据量大小 D_i 、车辆速度 v_i 、任务优先级 N_i^V 以及计算资源需求量 s_i 。考虑到拍卖失败次数对报价的影响, 本文基于拍卖补偿策略^[11]将车辆报价设计为

$$P_i^V = \frac{\text{Sum}D_i}{\text{Sum} - \text{Num}_i}(1 + N_i^V \beta_V) \quad (12)$$

其中, N_i^V 表示车辆 i 上任务的卸载优先级, 假设该优先级可用数值 {1,2,3,4} 表示, 且 N_i^V 越大表示该任务的优先级越高; Sum 表示计算资源分配过程中拍卖的总轮数; Num_i 表示车辆 i 在此次报价之前参与拍卖的失败次数; $\frac{\text{Sum}}{\text{Sum} - \text{Num}_i}$ 表示车辆报价的补

偿因子, 失败次数越多, 补偿因子越大, 此时车辆报价增长的速度也越快; 参数 $\beta_V \in [0,1]$ 用于调整不同任务优先级之间的报价差异, 例如 $\beta_V=10\%$ 表示每增加一级优先级, 报价则提高 10%。

以拍卖总轮数 $\text{Sum} = 10$ 的情况为例, 当数据量大小 $D_i = 500$ KB、任务优先级 $N_i^V = 1$, 参数 $\beta_V = 10\%$ 时, 若车辆参与拍卖的失败次数 Num_i 依次取值为 {1,2,3,4}, 根据式(12)可以计算得到车辆报价分别为 {672,756,864,1 008}。由此可以看出, 随着车辆拍卖失败次数的增加, 车辆报价不断增长, 且增长速度也不断提高。

为了进一步考虑交通流量对车辆边缘迁移效用的影响, 即交通流量的不同会造成各车道的拥挤程度不同, 对计算资源需求的紧迫程度也不同, 本方案利用 RSU 统计的周期内该路段交通流量信息, 来衡量不同车道上车辆的任务卸载的优先级。具体而言, 基于交通流量优先级将车辆报价设计为

$$P_i^V = \frac{\text{Sum}D_i}{\text{Sum} - \text{Num}_i}(1 + N_i^V \beta_V)(1 + N_i^T \beta_T) \quad (13)$$

其中, N_i^T 为车辆 i 所在路段的交通流量优先级, 表示该路段各车道上车辆的拥挤程度。假设该优先级可用数值 {1,2,3} 表示, 且该数值越大表示车辆所在车道交通流量越大, 任务执行的优先级越高。类似地, 参数 $\beta_T \in [0,1]$ 用于调整不同交通流量 T_{ij}^{move} 优先级之间的报价差异。

2) VEC 服务器报价

对于 VEC 服务器, 其报价完全由其持有计算资源量决定, 即计算资源越多, 报价越高。这是因为当持有计算资源越多, 该 VEC 服务器能计算的车辆任务也越多。本文假设 VEC 服务器报价与持有计算资源量呈线性关系, 并将 VEC 服务器的报价函数设计为

$$P_{j,t}^E = \gamma C_{j,t} \quad (14)$$

其中, γ 为单位资源量的报价。

3) 算法流程

基于上述报价设计, 本文提出一种基于交通流量预测的车联网双边拍卖边缘迁移算法, 如算法 1 所示。首先, 在每个拍卖周期中, RSU 根据感知的车辆信息统计出本拍卖周期 (即资源分配周期) 内计算任务尚未被卸载的所有车辆, 作为消费者队列汇总给基站。最后, 基站根据交通流量预测模型, 预测本周期内的交通流量信息, 获得交通流量优先级, 计算车辆报价并降序排列。对于每辆车, 分别计算车辆占用各服务器的时间段, 同时计算 VEC 服务器的报价并升序排列。最后, 对每个 VEC 服务器确认如果其接受某个车辆计算任务的卸载, 车辆占用的计算资源是否会超出其当前时间段内服务器的空闲资源量。若不超出, 则双方达成交易, 该车辆退出消费者队列并执行任务卸载, 同时服务器需要更新其计算资源量持有情况以及报价; 若超出, 则该车辆本轮竞拍失败, 更新车辆报价, 等待下一拍卖周期。至此, 本拍卖周期结束, 进入下一拍卖周期。

算法 1 基于交通流量预测的车联网双边拍卖边缘迁移算法

输入 $D_i, v_i, N_i^V, s_i, C_j, \text{Sum}$

输出 U_V, U_E

1) for ($T=1, T++, T \leq \text{Sum}$)

2) 筛选可参与本周期拍卖的 M_t 辆车

3) 预测本拍卖周期的交通流量, 计算 N_i^T

4) 根据式(13)计算 P_i^V , 降序排列车辆编号 i ($i=1,2,\dots,M_t$)

5) for ($i=1, i++, i \leq M_t$)

6) 根据式(1)和式(4)计算车辆 i 占用各 VEC 服务器的时间段 $[T_{ij}^{\text{move}}, T_{ij}^{\text{move}} + T_{ij}^{\text{occupy}}]$

7) 根据式(14)计算 $P_{j,t}^E$, 升序排列 VEC 服务器编号 j ($j=1,2,\dots,N$)

8) for ($j=1, j++, j \leq N$)

- 9) if($s_i \leq C_{j,t}$)
- 10) 竞拍成功, 车辆执行任务卸载
- 11) 更新 $C_{j,t}$ 和 $P_{j,t}^E$
- 12) else
- 13) 竞拍失败, Num_i++ , 更新 P_i^V
- 14) end if
- 15) end for
- 16) end for
- 17)end for

4.2 算法复杂度分析

本节将以系统中单个目标路段为例, 比较分析算法 1 与穷举法的算法复杂度。假设在第 t 个资源分配周期内, 进入目标路段的车辆总数为 M_t 。若采用穷举法进行计算迁移, 即将每辆车的任务可选的 N 种卸载方案进行遍历, 故单位分配周期内算法复杂度为 $O(N^{M_t})$ 。在算法 1 中, 考虑采用冒泡算法对车辆和 VEC 服务器分别进行排序, 则排序过程的复杂度分别可表示为 $O(M_t^2)$ 和 $O(N^2)$, 经过报价排序后的每辆车依次尝试与报价排序后的 VEC 服务器进行逐个匹配, 最终将计算任务卸载至最先匹配成功的服务器, 故算法 1 在单位分配周期内的算法复杂度可表示为 $\max\{O(M_t^2), O(M_t N^2)\}$ 。通过对比可以发现, 当 M_t 和 N 都较大时, 算法 1 复杂度远小于穷举法。

5 仿真分析

5.1 仿真设置

本节利用 MATLAB 平台进行仿真实验, 并考虑由 4 个双向多车道路段组成的十字路口网络模型如图 1 所示。在所有仿真实验中, 假设所有车辆全程均匀速行驶, 且忽略车辆在十字路口处转换路段和车道消耗的时间, 另外假设车辆在相同路段行驶过程中不允许切换车道。主要仿真参数如表 2 所示。

本节将针对函数和 VEC 服务器资源利用效用函数对比以下 3 种方案的仿真性能。

1) 顺序卸载方案: 车辆按照到达先后顺序依次选择 VEC 服务器完成计算任务卸载。

2) 未辅助的拍卖卸载方案: 在无交通流量预测信息辅助的情况下采用双边拍卖算法完成计算任务卸载, 即车辆根据式(13)提交报价, VEC 服务器根据式(14)提交报价, 基站再根据 McAfee 拍卖算法分配计算资源。

3) 本文所提方案: 在方案 2 的基础上引入交通流量预测信息的辅助完成计算任务卸载, 即算法 1。

参数	值
各路段长度/m	1 000
拍卖总轮数 Sum	10
资源分配周期时长/s	60
每个路段的 RSU 个数/个	10
分配周期内产生车辆数	泊松分布($\lambda = 40$)
车速 $v_i/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	平均分布 $U[60,90]$
车辆任务数据 D_i/KB	平均分布 $U[300,1 000]$
车辆所需资源量 s_i/GHz	平均分布 $U[0.5,1.5]$
无线传输链路带宽 B/kHz	50
车辆发射功率 P_i/dBm	10
路径损耗模型	$128.1+37.6\lg(d)$, d 为车辆与 RSU 之间的距离, 单位为 km
小尺度衰落	Rayleigh 衰落 $CN(0,1)$
加性高斯白噪声 σ^2/dBm	-109
CPU 速率 $U_j/(\text{cycle}\cdot\text{bit}^{-1})$	1 000
服务器资源量 C_j/GHz	5
车辆任务优先级 N_i^V	{1,2,3,4}
交通流量优先级 N_i^T	{1,2,3}

5.2 仿真结果

首先, 为了验证交通流量预测的有效性, 表 3 给出了不同仿真次数下, 路段 1 左转、直行和右转车道在第 6 个分配周期内交通流量预测情况。通过对比交通流量真实值和预测值可以发现, 尽管存在一定的预测误差, 但三车道之间的交通流量大小相对关系基本不变。该结果表明预测交通流量对应的优先级能够基本反映真实交通流量对应的优先级。

表 3 路段 1 第 6 分配周期内交通流量部分预测结果

真实值/辆			预测值/辆		
左转道路	直行道路	右转道路	左转道路	直行道路	右转道路
12	20	16	13	18	16
13	14	20	14	16	17
17	15	14	18	14	17
15	14	20	17	14	19
16	17	14	15	20	14

图 3 比较了不同车辆数量下的车辆任务卸载效用性能。当车辆数不断增加时, 3 种方案的车辆任务卸载效用函数 U_V 正如预期般呈下降趋势。这是

因为在 VEC 服务器的最大计算资源量约束下，增加车辆数会导致需要被卸载的任务数量增加，任务之间竞争有限计算资源更加激烈，进而车辆任务的卸载比例随之降低。除此之外，通过比较 3 种方案可以发现，得益于拍卖算法的优势，未辅助的拍卖卸载方案明显优于顺序分配方案，可以获得更高的车辆任务卸载效用。而本文所提方案在交通流量预测信息的辅助下，其车辆任务卸载效用性能相较于未辅助的拍卖卸载方案的性能得以大幅提高。其原因是本文所提方案中预测的交通流量信息用于衡量车辆任务卸载的优先级，再通过基于交通流量优先级的车辆报价设计，可使所在车道交通流量越大的车辆，任务被执行的优先级越高，从而车辆任务卸载产生的效用值也越高。该仿真结果验证了本文所提方案在不同车辆数量的车联网中的有效性，以及交通流量预测信息对车辆任务卸载效用性能的提升。

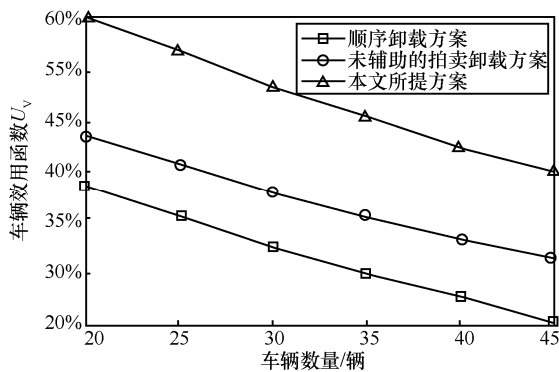


图 3 不同车辆数量下的车辆任务卸载效用比较

图 4 比较了 3 种方案在不同 VEC 服务器数量下的车辆任务卸载率性能。随着每个路段中 VEC 服务器数量的不断增加，3 种方案的车辆任务卸载效用函数 U_V 均呈上升趋势。这是因为在车辆数基本保持不变的情况下，增加 VEC 服务器的数量可以为车辆的任务卸载提供更多的选择，从而使车辆任务的卸载完成率不断增长。另外，通过对比 3 种方案的性能可以发现，本文所提方案性能表现最优，且当 VEC 服务器数量增加时，性能优势越明显。其原因是交通流量信息的辅助可以使优先级越高的车辆任务越能优先地被执行，并在 VEC 服务器数量增加时，可以使更多优先级高的任务被执行。而未辅助的拍卖卸载方案比顺序卸载方案性能表现更佳，是由于拍卖卸载方案能够更有效地利用 VEC 服务器的计算资源来提升车辆任务卸载效用。上述结果表明，可以通过增加 VEC 服务器数量来提高车辆任务卸载效用。

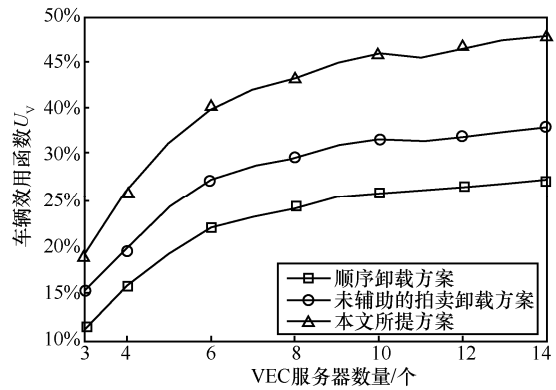


图 4 不同 VEC 服务器数量下的车辆任务卸载效用比较

图 5 进一步比较了 3 种算法在不同车辆数量下的服务器资源利用率性能。由于车辆数增加导致计算任务数增加，而 VEC 服务器的计算资源总量不变，因此 VEC 服务器资源利用率提高，从而 3 种算法的 VEC 服务器资源利用效用 U_E 均呈上升趋势。相较于对比方案，本文所提方案在交通流量预测信息的辅助下，可以获得性能最优的 VEC 服务器资源利用效用。这是因为预测的交通流量信息能更好地估计车辆任务卸载的优先级，再通过拍卖算法可使 VEC 服务器资源能被更好地利用。值得注意的是，随着车辆数量的不断增加，3 种方案的性能差异也随之显著增加，这表明交通流量预测信息有助于更多车辆合理利用服务器资源。

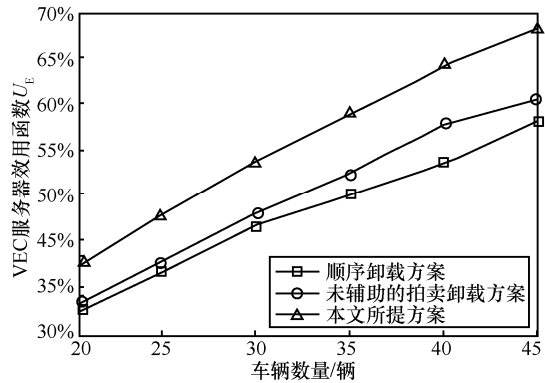


图 5 不同车辆数量下的服务器资源利用率比较

图 6 比较了 3 种方案中 VEC 服务器数量与服务器资源利用效用函数之间的关系。首先，可以观察到，VEC 服务器资源利用效用函数 U_E 随服务器数量的增加而增加。这是由于 VEC 服务器数量的增加，可以给车辆提供更多充分利用 VEC 服务器计算资源的机会。其次，3 种方案的 VEC 服务器资源利用效用在服务器个数较少时增长均较快（如 N 由 3 增加至 7 时），但当 VEC 服务器数

量较多时，其增长速度逐渐变慢。这是因为即使 VEC 服务器数量不断增加，以及被成功卸载的车辆任务数量随之上升，但是 VEC 服务器的计算资源总量也在增加，因此资源利用效用的增长速度会逐渐放缓。最后，通过对比 3 种方案可知，本文所提方案的性能仍是最优的，未辅助的拍卖卸载方案次之。其原因是拍卖卸载方案同时考虑车辆效用和 VEC 服务器效用的最大化，而交通流量信息的辅助能更进一步确保优先级较高的任务优先被执行，并能更合理地利用 VEC 服务器资源。另外，随着 VEC 服务器数量的增加，本文所提方案的性能优势越明显，这再次验证了本文所提方案的优越性。

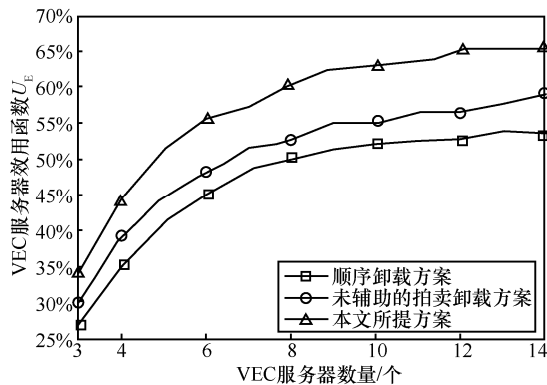


图 6 不同 VEC 服务器数量下的服务器资源利用率比较

6 结束语

本文考虑动态变化的交通流量场景下车联网边缘计算迁移问题，提出一种基于交通流量预测的双边拍卖边缘计算迁移方案。该方案首先利用马尔可夫决策过程理论建立交通流量预测模型，再通过交通流量预测信息衡量车辆任务优先级，进而完成双边拍卖理论中车辆报价的设计，并通过双边拍卖算法最终同时实现车辆任务边缘迁移率和边缘计算服务器资源利用率的最大化。仿真结果验证了交通流量预测信息对边缘计算迁移性能提升的有效性，且分别揭示了不同车辆数和 VEC 服务器数对边缘迁移率和计算资源利用率的影响规律。下一步工作将考虑结合强化学习理论解决未知交通流量动态变化规律时的车联网边缘计算迁移问题。

参考文献:

[1] LIANG L, PENG H, LI G, et al. Vehicular communications: a physical layer perspective[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017, 66(12): 10647-10659.

[2] 谢人超, 廉晓飞, 贾庆民, 等. 移动边缘计算卸载技术综述[J]. 通信学报, 2018, 39(11): 138-155.
XIE R C, LIAN X F, JIA Q M, et al. Overview of mobile edge computing offload technology[J]. Journal on Communications, 2018, 39(11): 138-155.

[3] MAO Y, YOU C, ZHANG J, et al. A survey on mobile edge computing: the communication perspective[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19(4): 2322-2358.

[4] WANG S, ZHANG X, ZHANG Y, et al. A survey on mobile edge networks: convergence of computing, caching and communications[J]. IEEE Access, 2017, 5: 6757-6779.

[5] ZHANG J, LETAIEF K B. Mobile edge intelligence and computing for the Internet of vehicles[J]. Proceedings of the IEEE, 2020, 108(2): 246-261.

[6] ZHANG K, MAO Y, LENG S, et al. Mobile-edge computing for vehicular networks: a promising network paradigm with predictive off-loading[J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2017, 12(2): 36-44.

[7] ZHAO J, LI Q, GONG Y, et al. Computation offloading and resource allocation for cloud assisted mobile edge computing in vehicular networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68(8): 7944-7956.

[8] DAI Y Y, XU D, MAHARJAN S, et al. Joint load balancing and offloading in vehicular edge computing and networks[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(3): 4377-4387.

[9] 张海波, 程妍, 刘开健, 等. 车联网中整合移动边缘计算与内容分发网络的移动性管理策略[J]. 电子与信息学报, 2020, 42(6): 1444-1451.
ZHANG H B, CHENG Y, LIU K J, et al. The mobility management strategies by integrating mobile edge computing and CDN in vehicular networks[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2020, 42(6): 1444-1451.

[10] 余翔, 刘一勋, 石雪琴, 等. 车联网场景下的移动边缘计算卸载策略[J]. 计算机工程, 2020, doi: 10.19678/j.issn.1000-3428.0056850.
YU X, LIU Y X, SHI X Q, et al. Offloading strategy for mobile edge computing in Vehicle Network[J]. Computer Engineering, 2020, doi: 10.19678/j.issn.1000-3428.0056850.

[11] 盛津芳, 滕潇雨, 李伟民, 等. 移动边缘计算中基于改进拍卖模型的计算卸载策略[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(6): 1688-1692.
SHENG J F, TENG X Y, LI W M, et al. Computational unloading strategy based on improved auction model in mobile edge computing[J]. Application Research of Computers, 2020, 37(6): 1688-1692.

[12] LIU Y, YU H, XIE S, et al. Deep reinforcement learning for offloading and resource allocation in vehicle edge computing and networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68(11): 11158-11168.

[13] TAN L, HU R. Mobility-aware edge caching and computing in vehicle networks: a deep reinforcement learning[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 67(11): 10190-10203.

[14] 乔冠华, 冷魁鹏, 刘浩, 等. 面向车辆多址接入边缘计算网络的任

务协同计算迁移策略[J]. 物联网学报, 2019, 3(1): 51-59.

QIAO G H, LENG S P, LIU H, et al. Task collaborative offloading scheme in vehicle multi-access edge computing network[J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2019, 3(1): 51-59.

- [15] 赵海涛, 张唐伟, 陈跃, 等. 基于 DQN 的车载边缘网络任务分发卸载算法[J]. 通信学报, 2020, 41(8): 1-7.
ZHAO H T, ZHANG T W, CHEN Y, et al. Task distribution offloading algorithm of vehicle edge network based on DQN[J]. Journal of Communications, 2020, 41(8): 1-7.
- [16] 叶佩文, 贾向东, 杨小蓉, 等. 面向车联网多智能体强化学习边云协同卸载[J]. 计算机工程, 2020, doi:10.19678/j.issn.1000-3428.0058323.
YE P W, JIA X D, YANG X R, et al. Multi-agent reinforcement learning edge cloud collaboration offloading for vehicular networks[J]. Computer Engineering, 2020, doi:10.19678/j.issn.1000-3428.0058323.
- [17] SUN Y X, GUO X Y, SONG J H, et al. Adaptive learning-based task offloading for vehicular edge computing systems[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, 68(4): 3061-3074.
- [18] SHI Z, BAO D, FAN Y, et al. The asymptotic equipartition property of Markov chains in single infinite Markovian environment on countable state space[J]. Stochastics, 2019, 91(6): 1-13.
- [19] MYERSON R B. Optimal auction design[J]. Discussion Papers, 1978, 6(1): 58-73.
- [20] VICKREY W. Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders[J]. Journal of Finance, 1961, 16(1): 8-37.

[作者简介]



林艳(1990-), 女, 安徽芜湖人, 博士, 南京理工大学讲师, 主要研究方向为 6G 无线通信资源分配、车联网、移动边缘计算、智能资源调度等。



闫帅(1997-), 男, 江苏连云港人, 中国科学技术大学硕士生, 主要研究方向为无线通信资源分配、移动边缘计算等。



张一晋(1982-), 男, 江苏常州人, 博士, 南京理工大学教授, 主要研究方向为通信系统的序列设计、资源调度及多智能体决策。



李春国(1983-), 男, 山东胶州人, 博士, 东南大学教授, 主要研究方向为 6G 智能通信、图片/视频智能识别算法设计、无线通信物理层网络安全、人工智能技术等。



束锋(1973-), 男, 安徽桐城人, 博士, 海南大学教授, 主要研究方向为无线通信、移动网络、信息安全、无线测向与定位等。

通 信 学 报

2020 年 (第 41 卷) 总目次

专题: 智慧矿山

	期	编号	页码
矿山物联网人-机-环状态感知关键技术研究			
..... 袁 亮, 俞 啸, 丁恩杰, 赵小虎, 冯仕民, 张 达, 刘统玉, 王卫东, 黄艳秋	2	[2020036](1)	
基于压缩感知的设备多源信息传输与分类算法	2	[2020040](13)	
..... 赵小虎, 王 刚, 宋泊明, 于嘉成			
基于流量预测的物联网卫星节点动态缓存分配路由策略	2	[2020038](25)	
..... 王卫东, 王 程, 王慧文, 徐 玘			
基于多维度和多模态信息的视频描述方法	2	[2020037](36)	
..... 丁恩杰, 刘忠育, 刘亚峰, 郁万里			
矿山微功耗安全监测物联网系统的研究与应用	2	[2020034](44)	
..... 张 达, 王济农, 冀 虎, 纪 浩, 赵云峰			
掘进机精准定位方法与掘进机器人系统	2	[2020042](58)	
..... 卢新明, 闫长青, 袁照平			
光纤多参数传感器研究	2	[2020039](66)	
..... 刘统玉, 李 振, 孟祥军, 赵 林, 王富奇, 董果凤, 王纪强			

专题: 边缘计算关键技术

移动性感知的边缘服务迁移策略	4	[2020085](1)	
..... 吴大鹏, 吕 吉, 李职杜, 王汝言			
基于边缘计算的支持多密钥的加密图像检索	4	[2020086](14)	
..... 李颖莹, 马建峰, 苗银宾			
基于移动边缘计算的 NOMA 异构网络资源分配	4	[2020069](27)	
..... 张海君, 张资政, 隆克平			
异构蜂窝网络中分层任务卸载: 建模与优化	4	[2020081](34)	
..... 赵临东, 庄文芹, 陈建新, 周 亮			
基于移动边缘计算的虚拟现实压缩与传输系统	4	[2020076](45)	
..... 谭 彬, 赵嵩源, 吴 俊, 张文茹			

专题: 移动人工智能

智能无线通信技术研究概况	7	[2020145](1)	
..... 梁应敞, 谭俊杰, Dusit Niyato			
城市环境下的用户移动行为建模概述	7	[2020147](18)	
..... 徐丰力, 李 勇			
面向不确定 CSI 随机接入网络的深度稳健资源分配	7	[2020148](29)	
..... 吴伟华, 柴冠华, 杨清海, 刘润滋			
基于多智能体深度强化学习的分布式干扰协调	7	[2020149](38)	
..... 刘婷婷, 罗义南, 杨晨阳			

专题: 面向智慧应急的通信与计算融合

基于集成学习的广域光骨干网多信道传输质量预测方法	9	[2020201](1)	
..... 孙晓川, 李志刚, 张明辉, 桂 冠			
基于深度强化学习的应急物联网切片资源预留算法	9	[2020200](8)	
..... 孙国林, 欧睿杰, 刘贵松			

无人机辅助的 NOMA 网络用户分组与功率分配算法…… 李国权, 林金朝, 徐勇军, 黄正文, 刘 挺 9 [2020194](21)

专题: 面向万物互联的通信与计算融合

区块链赋能的边缘异构计算系统中资源调度研究…… 张 平, 李世林, 刘宜明, 秦晓琦, 许晓东 10 [2020206](1)

无人机辅助边缘计算的能量效率最大化算法设计…… 吴启晖, 吴 伟 10 [2020204](15)

基于次模优化的边云协同多用户计算任务迁移方法…… 梁 冰, 纪 雯 10 [2020205](25)

移动边缘计算网络中联合无线多播的服务功能链部署算法…… 王 侃, 赵 楠, 李军怀, 王怀军 10 [2020210](37)

面向 6G 的区块链物联网数据共享和存储机制…… 蒋宇娜, 葛晓虎, 杨 旸, 王承祥, 李 颀 10 [2020211](48)

无线供能边缘计算网络中系统计算能效最大化资源分配方案…… 施丽琴, 叶迎晖, 卢光跃 10 [2020182](59)

专题: 面向 6G 的智能无线通信关键技术

Challenges for beyond 5G: ultra-densification of radio access network……
..... Fumiyuki Adachi, Ryo Takahashi, Hidenori Matsuo 11 [2020240](1)

基于轻量级深度神经网络的电磁信号调制识别技术…… 张思成, 林 云, 涂 涯, Shiwen Mao 11 [2020237](12)

无人机无线网络覆盖与切换性能分析…… 尹博南, 彭木根, 刘晨熙 11 [2020236](22)

学 术 论 文

车辆边缘网络中基于多参数 MDP 模型的动态服务迁移策略…… 郭 辉, 芮兰兰, 高志鹏 1 [2020012](1)

基于平均余弦符合度下的本原 BCH 码盲识别…… 吴昭军, 张立民, 钟兆根, 龙玉峰 1 [2020022](15)

基于自适应加速前向后向匹配追踪的压缩感知重构算法…… 潘作舟, 孟 宗, 李 晶, 石 颖 1 [2020006](25)

内网环境下基于时空事件关联的攻击检测方法…… 孙 伟, 张 鹏, 何永全, 邢丽超 1 [2020001](33)

基于 Markov 时间博弈的移动目标防御最优策略选取方法……
..... 谭晶磊, 张恒巍, 张红旗, 雷 程, 金 辉 1 [2020003](42)

基于编码的多接收方广义签密方案…… 韩益亮, 王 众 1 [2020002](53)

基于补偿透射率和自适应雾浓度系数的图像复原算法…… 杨 燕, 王志伟 1 [2020009](66)

基于粗糙集规则提取的协同过滤推荐算法…… 任永功, 张云鹏, 张志鹏 1 [2020028](76)

认知网络干扰效率最大稳健功率与子载波分配算法…… 徐勇军, 杨 洋, 刘期烈, 陈前斌, 林金朝 1 [2020007](84)

GRANULE 和 MANTRA 算法的不可能差分区分器分析…… 武小年, 李迎新, 韦永壮, 孙亚平 1 [2020025](94)

基于值导数 GRU 的移动恶意软件流量检测方法……
..... 周翰逊, 陈 晨, 冯润泽, 熊俊坤, 潘 宏, 郭 薇 1 [2020005](102)

SDN 和 MEC 架构下 V2X 卸载与资源分配…… 张海波, 王子心, 贺晓帆 1 [2020023](114)

DGANS: 基于双重生成式对抗网络的稳健图像隐写模型	竺乐庆, 郭 钰, 莫凌强, 张大兴	1	[2020019](125)
网络空间信息系统模型与应用	王继龙, 庄姝颖, 缪葱葱, 安常青	2	[2020018](74)
基于非正交多址接入异构携能网络稳健能效资源分配算法	徐勇军, 李国权, 陈前斌, 林金朝	2	[2020029](84)
基于动态伪装网络的主动欺骗防御方法	王 硕, 王建华, 裴庆祺, 汤光明, 王 洋, 刘小虎	2	[2020026](97)
基于属性轻量级可重构的访问控制策略	谢绒娜, 李 晖, 史国振, 郭云川	2	[2020035](112)
无人机三维空地信道模型的空间特性研究	张 治, 熊天波, 陈建侨, 马 楠	2	[2020043](123)
基于最小代价路径的交换机迁移方法研究	赖英旭, 蒲叶玮, 刘 静	2	[2020030](131)
基于无监督多源数据特征解析的网络威胁态势评估	杨宏宇, 王峰岩	2	[2020015](143)
Android 设备中基于流量特征的隐私泄露评估方案	王 竹, 贺 坤, 王新宇, 牛 犇, 李凤华	2	[2020020](155)
信息安全领域内实体共指消解技术研究	张 晗, 胡永进, 郭渊博, 陈吉成	2	[2020033](165)
基于区块链的频谱设备网络中防御拜占庭攻击的分布式共识机制 .....	..... 杨 健, 陈 曦, 丁国如, 赵杭生, 张林元, 孙佳琛	3	[2020044](1)
面向拟态云服务的异构执行体调度算法	普黎明, 刘树新, 丁瑞浩, 王 凯	3	[2020052](17)
次成分提取信息准则的加权规则方向收敛分析	杜柏阳, 孔祥玉, 冯晓伟	3	[2020014](25)
噪声稳健性的卡方生成对抗网络	李洪均, 李超波, 张士兵	3	[2020041](33)
毫米波 massive MIMO 系统中混合连接的混合预编码设计	赵宏宇, 姚红艳	3	[2020057](45)
基于位置语义和查询概率的假位置选择算法	王 洁, 王春茹, 马建峰, 李洪涛	3	[2020061](53)
基于分组 SIFT 的图像复制粘贴篡改快速检测算法	肖 斌, 景如霞, 毕秀丽, 马建峰	3	[2020045](62)
D2D 中继辅助通信的能效优化算法研究	王 雪, 金 涛, 钱志鸿, 胡良帅, 王 鑫	3	[2020048](71)
委托计算下基于区块链的公平支付方案	李 沓, 田有亮, 向 康, 高鸿峰	3	[2020046](80)
基于多特征加权的 SAR 影像舰船检测优化方法	赵泉华, 王 肖, 李 玉, 王光辉	3	[2020013](91)
RoF-DAS 架构下具有差错重传的预约式 WLAN MAC 协议研究 .....	..... 官 铮, 熊 磊, 贾 镠, 何 敏, 杨志军	3	[2020056](102)
基于 Zadoff-Chu 矩阵的最优码本构造方法	李玉博, 刘胜毅, 张景景, 贾冬艳	3	[2020021](112)
多样化软件系统量化评估方法	姚 远, 潘传幸, 张 铮, 张高斐	3	[2020051](120)
基于时延的 LEO 卫星网络 SDN 控制器动态放置方法	韩珍珍, 赵国锋, 徐 川, 周文涛, 周洋洋	3	[2020054](126)
有限字符输入下基于截断速率的安全空间调制天线选择算法	丁青锋, 奚 韬, 杨 倩, 丁 旭	3	[2020047](136)
基于预测原理的回声状态网络在线盲均衡算法	杨 凌, 韩 琴, 程 丽, 赵傲男, 杜 娟	3	[2020031](145)
基于扩频码时移位置调制的卫星导航信号设计	康家方, 王红星, 刘锡国, 钟佩琳, 李笔锋	4	[2020072](54)

面向拟态判决的可编程语义解析方法	张文建, 宋克, 谭力波, 魏帅, 董春雷	4	[2020068](62)
MEC 中基于改进遗传模拟退火算法的虚拟网络功能部署策略	陈卓, 冯钢, 刘怡静, 周杨	4	[2020074](70)
面向水声网络可靠传输的 FDR 编解码算法	王丽娟, 杜秀娟, 李冲	4	[2020058](81)
面向工业物联网的 IEEE 802.11ah 协议 RAW 在线式重组方法 .....	.....孙彦景, 杨俊秋, 陈岩, 王艳芬, 陈晓晶, 刘丰祯, 孙智	4	[2020060](92)
基于风险感知的关键虚拟网络功能动态迁移方法	丁绍虎, 谢记超, 张鹏, 普黎明, 谷允捷	4	[2020063](102)
基于区块链的公钥可搜索加密方案	杜瑞忠, 谭艾伦, 田俊峰	4	[2020070](114)
基于预测和滑动窗口的轨迹差分隐私保护机制	叶阿勇, 孟玲玉, 赵子文, 刁一晴, 张娇美	4	[2020049](123)
基于特征流融合的带噪语音检测算法	龙华, 杨明亮, 邵玉斌	4	[2020067](134)
FeW 的差分故障攻击	谢敏, 李嘉琪, 田峰	4	[2020077](143)
抗密钥委托滥用的可追踪属性基加密方案	闫玺玺, 何旭, 刘涛, 叶青, 于金霞, 汤永利	4	[2020016](150)
特征算子谱表示与特征展开的研究	王宏禹, 邱天爽	5	[2020096](1)
面向 6G 的极化码与极化处理	牛凯, 戴金晟, 朴璿楠	5	[2020090](9)
基于拟态防御的以太网交换机内生安全体系结构	宋克, 刘勤让, 魏帅, 张文建, 谭力波	5	[2020098](18)
基于引导滤波和自适应容差的图像去雾算法	金仙力, 张威, 刘林峰	5	[2020078](27)
Fast-flucos: 基于 DNS 流量的 Fast-flux 恶意域名检测方法	韩春雨, 张永铮, 张玉	5	[2020094](37)
基于共享图和部分复制策略的分布式存储因果一致性模型	田俊峰, 杨万贺, 庞亚南, 张俊涛	5	[2020079](48)
基于链路容量的多路径拥塞控制算法	王竹, 袁青云, 郝凡凡, 房梁, 李凤华	5	[2020106](59)
密文去重系统中的数据访问控制策略	贾春福, 哈冠雄, 李瑞琪	5	[2020062](72)
稀疏诱导流形正则化凸非负矩阵分解算法	邱飞岳, 陈博文, 陈铁明, 章国道	5	[2020064](84)
基于声音空间梯度的高稳健性击键识别方法	刘影, 韩康康, 钱志鸿	5	[2020095](96)
基于无意调相特性的雷达辐射源个体识别	秦鑫, 黄洁, 王建涛, 陈世文	5	[2020084](104)
基于终端电池状态信息的 SWIPT 公平传输策略	胡志蕊	5	[2020089](112)
基于分布信息直觉模糊 c 均值聚类的红外图像分割算法	王晓飞, 胡凡奎, 黄硕	5	[2020071](120)
基于区块链的数据库访问控制机制设计	付永贵, 朱建明	5	[2020097](130)
基于改进的免疫克隆蛙跳算法的多约束 QoS 路由优化研究	卢毅, 徐梦颖, 周杰	5	[2020102](141)
轨道角动量通信技术研究	郑风, 陈艺骛, 冀思伟, 段高明, 郁光辉	5	[2020108](150)
基于多特征动态优先级的网络实时调度算法 .....	.....苏洵, 李艳芳, 宗宁, 魏巍, 李娟, 丁莹	5	[2020091](159)

基于用户偏好预测的无人机部署和缓存策略.....			
.....任佳智, 田 辉, 范绍帅, 林远卓, 聂高峰, 李继龙	6	[2020104](1)	
基于 RLWE 的可证明安全无陷门签密方案.....	刘 镇, 韩益亮, 杨晓元, 柳曙光	6	[2020093](14)
无人机网络中基于分层博弈的干扰对抗频谱接入优化.....	范超琼, 赵成林, 李 斌	6	[2020114](26)
采用组合方法进行链路预测的理论极限研究.....	吴翼腾, 于洪涛, 黄瑞阳, 李华巍	6	[2020125](34)
基于深度增强学习和多目标优化改进的卫星资源分配算法.....			
.....张 沛, 刘帅军, 马治国, 王晓晖, 宋俊德	6	[2020117](51)	
安全加密的门限签名混淆.....	李亚红, 王彩芬, 张玉磊, 杨小东, 黄海燕	6	[2020129](61)
基于资源传输匹配度的复杂网络链路预测方法.....	刘树新, 李 星, 陈鸿昶, 王 凯	6	[2020124](70)
针对物理访问控制的拟态防御认证方法.....	周清雷, 班绍桓, 韩英杰, 冯 峰	6	[2020115](80)
基于自编码器的未知协议分类方法.....	顾纯祥, 吴伟森, 石雅男, 李光松	6	[2020123](88)
基于阈值重加密的抗边信道攻击云数据安全去重方法.....	唐 鑫, 周琳娜, 单伟杰, 刘 丹	6	[2020103](98)
基于斐波那契树优化算法的数据中心流量调度策略.....			
.....王耀民, 王 霞, 董 易, 张松海, 施心陵	6	[2020075](112)	
基于样本增强的网络恶意流量智能检测方法.....	陈铁明, 金成强, 吕明琪, 朱添田	6	[2020122](128)
基于 DPDK 的内网动态网关关键技术设计.....	陈福才, 何威振, 程国振, 霍树民, 周大成	6	[2020126](139)
GAD: 基于拓扑感知的时间序列异常检测.....	戚 琦, 申润业, 王敬宇	6	[2020113](152)
噪声不确定时基于波束成形的隐蔽无线通信性能分析.....	林钰达, 金 梁, 周 游, 楼洋明	7	[2020137](49)
基于跳波束的新一代高通量卫星通信系统设计.....	张 晨, 张更新, 王显煜	7	[2020083](59)
基于智能交通的隐私保护道路状态实时监测方案.....	李家印, 郭文忠, 李小燕, 刘西蒙	7	[2020110](73)
反向散射辅助的无线供能通信网络中用户能效公平性研究.....	叶迎晖, 施丽琴, 卢光跃	7	[2020133](84)
基于分块的移动边缘计算密文检索方法.....	王 娜, 郑 坤, 付俊松, 李 剑	7	[2020142](95)
基于 Hebbian 规则的新型自适应广义主元分析算法.....	高迎彬, 孔祥玉, 崔巧花, 董海迪	7	[2020134](103)
视频对象移除篡改的时空域定位被动取证.....	陈临强, 杨全鑫, 袁理锋, 姚 晔, 张 祯, 吴国华	7	[2020151](110)
基于信息论的入侵检测最佳响应方案.....	田有亮, 吴雨龙, 李秋贤	7	[2020111](121)
基于不完美 CSI 的异构 NOMA 网络能效优化算法.....	徐勇军, 谢 豪, 陈前斌, 林金朝, 刘期烈	7	[2020101](131)
移动边缘计算中基于信誉值的智能计算卸载模型研究.....			
.....亓 晋, 孙海蓉, 巩 锟, 许 斌, 张顺颐, 孙雁飞	7	[2020105](141)	
基于 GPCR 的车辆自组织网络路由优化方法.....	谷志茹, 李 敏, 龙永红, 舒小华, 荣 青	7	[2020144](152)

超密集网络导频复用干扰避免策略	黄 杰, 杨 凡, 高乙文, 张博为	7	[2020120](165)
基于联合特征参数提取的非合作信号调制识别算法	司海飞, 胡兴柳, 史 震, 李仕勇	7	[2020138](172)
基于 M-FlipIt 博弈模型的拟态防御策略评估	丁绍虎, 齐 宁, 郭义伟	7	[2020136](186)
基于联盟博弈的自适应 SDN 交换机迁移机制	姚 蓝, 兰巨龙	8	[2020161](1)
基于 Nonce 重用的 ACORN v3 状态恢复攻击	张国双, 陈 晓, 林东岱, 刘凤梅	8	[2020164](11)
适应度二次选择的 QPSO 和 SA 协同搜索大规模离散优化算法	张兆娟, 王万良, 唐继军	8	[2020173](22)
基于多阶段网络欺骗博弈的主动防御研究	胡永进, 马 骏, 郭渊博, 张 晗	8	[2020112](32)
基于连续图像深度学习的 Wi-Fi 人体行为识别方法	周启臻, 邢建春, 杨启亮, 韩德帅	8	[2020141](43)
面向云存储的数据加密系统与技术研究			
.....	韩培义, 刘川意, 王佳慧, 段少明, 潘鹤中, 方滨兴	8	[2020140](55)
基于判决辅助的异步 CDMA 信号多伪码序列盲估计算法	邱钊洋, 李天昀, 陈香名	8	[2020163](66)
基于 SWIPT 的毫米波大规模 MIMO-NOMA 系统下安全能效资源优化			
.....	赵 飞, 郝万明, 孙钢灿, 周一青, 王 飞, 王 毅	8	[2020169](79)
无人机自主通信和组网能力评估方法	赵海涛, 高士顺, 王海军, 雍 婷, 魏急波	8	[2020143](87)
基于张量的互质面阵信号处理方法	饶 伟, 桂宇风, 李 旦	8	[2020153](99)
基于 GAN 的异构无线网络故障检测与诊断算法	朱晓荣, 张佩佩	8	[2020165](110)
基于位置的天地一体化网络路由寻址机制研究	李贺武, 刘李鑫, 刘 君, 吴 茜	8	[2020135](120)
基于双向邻居修正的局部异常因子算法	杨晓晖, 刘晓明	8	[2020119](130)
SWIPT-NOMA 机会协作系统的优化方案	李陶深, 宁倩丽, 王 哲	8	[2020109](141)
CMDC: 一种差异互补的迭代式多维度文本聚类算法			
.....	黄瑞章, 白瑞娜, 陈艳平, 秦永彬, 程欣宇, 田有亮	8	[2020152](155)
面向算力受限边缘环境的双分支多尺度感知人脸检测网络			
.....	戚 琦, 马迎新, 王敬宇, 孙海峰, 廖建新	8	[2020177](165)
面向雾增强型工业物联网的多维安全查询方案	周由胜, 谭 畅, 唐 飞	8	[2020127](175)
互操作性与自治性平衡的跨域访问控制策略映射			
.....	诸天逸, 李凤华, 金 伟, 郭云川, 房 梁, 成 林	9	[2020157](29)
基于信道冲激响应不敏感特征的分子通信非相干信号检测			
.....	肖利民, 徐向荣, 韦壮焜, 刘圣涵, 刘怡文	9	[2020171](49)
基于对抗样本的网络欺骗流量生成方法	胡永进, 郭渊博, 马 骏, 张 晗, 毛秀青	9	[2020166](59)

基于单个光调制器的有线和单边带无线服务	李韦萍, 孔 淼, 王演祎, 余建军	9	[2020202](71)
面向隐私保护的多属性逆向频谱拍卖方案	王佳琪, 鲁 宁, 程庆丰, 巫朝霞, 史闻博	9	[2020121](77)
双单播网络编码的构造方法	蒲保兴, 莫智懿	9	[2020139](92)
基于改进 PBFT 算法防御区块链中 sybil 攻击的研究	赖英旭, 薄尊旭, 刘 静	9	[2020170](104)
基于改进 Merkle-Tree 认证方法的可验证多关键词搜索方案	田有亮, 骆 琴	9	[2020146](118)
无人机辅助蜂窝网络中的无人机与用户协同缓存算法	张天魁, 陈 超, 王子端, 杨鼎成	9	[2020198](130)
基于能量收集的全双工认知中继网络功率分配算法	张士兵, 韩刘可, 张美娟	9	[2020168](139)
基于 Matern 簇过程的 NOMA-HetNet 覆盖概率分析	景小荣, 陈怡西, 陈前斌	9	[2020150](147)
基于贝叶斯攻击图的网络入侵意图分析模型	罗智勇, 杨 旭, 刘嘉辉, 许 瑞	9	[2020172](160)
基于 Stackelberg 博弈的双目标 WOA 频谱共享算法	张 力, 廖 天, 何业军	9	[2020156](170)
可见光通信自适应 O-OFDM 符号分解串行传输系统设计与研究			
.....	贾科军, 杨博然, 曹明华, 黎锁平, 郝 莉	9	[2020179](179)
基于多池化融合与背景消除网络的跨数据集行人再识别方法			
.....	李艳凤, 张 斌, 孙 嘉, 陈后金, 朱锦雷	10	[2020181](70)
融合对抗主动学习的网络安全知识三元组抽取	李 涛, 郭渊博, 琚安康	10	[2020174](80)
Flink 环境下基于负载预测的弹性资源调度策略			
.....	李梓杨, 于 炯, 王跃飞, 卞 琛, 蒲勇霖, 张译天, 刘 宇	10	[2020195](92)
面向视频监控基于联邦学习的智能边缘计算技术	赵 羽, 杨 洁, 刘 淼, 孙金龙, 桂 冠	10	[2020192](109)
基于时变图的天地一体化网络时间确定性路由算法与协议			
.....	李红艳, 张 焘, 张靖乾, 史可懿, 曾鹏程	10	[2020188](116)
适用于保密容量为负情形的基于混沌序列的 polar 码加密方案	张小卉, 张顺亮, 李博文	10	[2020187](130)
认知协作 NOMA 网络的安全性能分析	杨 震, 朱梦瑶, 冯友宏	10	[2020180](139)
利用混合 RF-FSO 系统改善深空通信的研究	刘宏展, 姜 婷, 郝 源	10	[2020185](148)
MIMO 全双工双向安全通信系统的预编码矩阵设计	雷维嘉, 周 洋, 谢显中, 雷宏江	10	[2020155](156)
基于 DQN 的车载边缘网络任务分发卸载算法	赵海涛, 张唐伟, 陈 跃, 赵厚麟, 朱洪波	10	[2020160](172)
M 分布星地激光通信链路相干正交频分复用系统误码性能研究	王 怡, 王亚萍	10	[2020197](179)
边缘协作的轻量级安全区域建议网络	熊金波, 毕仁万, 陈前听, 刘西蒙	10	[2020186](188)
超声波透金属通信中子载波快速筛选比特填充算法	许琳森, 杨 维, 田洪现, 吴 韬	11	[2020228](30)
Ceph 云存储网络中一种业务优先级区分的多播流调度方法	柯文龙, 王 勇, 叶 苗, 陈俊奇	11	[2020233](40)

基于移动边缘计算的时延能耗最小化安全传输.....	任品毅, 许茜	11	[2020219](52)
基于 D2D 多播通信的合作内容下载机制.....	杨莲新, 吴丹, 袁峰, 乐超, 富勤学	11	[2020221](64)
基于蚁群算法的骨干网络发现.....	吕芳, 柏军, 黄俊恒, 王佰玲	11	[2020207](74)
面向智能共享的内生可信网络体系架构.....	郭少勇, 齐莞苑, 代美玲, 邱雪松, 亓峰, 张平	11	[2020193](86)
车载异构网络中基于前向时延的多径传输路径调度优化.....	赵海涛, 陈跃, 张唐伟, 朱奇星, 朱洪波	11	[2020162](99)
双 Johnson S_B 分布湍流扰动 OAM 光通信接收信号生成研究.....	陈纯毅, 熊琴琴, 于海洋, 姚海峰, 宋佳雪, 娄岩	11	[2020183](108)
改进的双曲正切函数的变步长 LMS 算法.....	章坚武, 余皓, 章谦骅	11	[2020224](116)
面向大规模时间敏感网络的分组调度机制.....	邱雪松, 黄徐川, 李文萃, 李温静, 郭少勇	11	[2020203](124)
基于 CNN 的双边融合算法在高光谱图像分类中的应用.....	高红民, 曹雪莹, 杨耀, 花再军, 李臣明	11	[2020238](132)
新型机会式 NOMA 协作多播方案.....	陆音, 陈继荣, 卞皓伟, 朱洪波	11	[2020239](141)
基于附链的容迟网络区块链贸易机制.....	訾玲玲, 丛鑫	11	[2020234](151)
可变融合的随机注意力胶囊网络入侵检测模型.....	张兴兰, 尹晟霖	11	[2020220](160)
$4t-1$ 元旋转对称 2-弹性函数的构造.....	杜蛟, 刘春红, 庞善起	11	[2020213](169)
面向多速率码分多址可见光通信系统的新码集研究.....	王建萍, 陈丹阳, 路慧敏, 金建力, 冯莉芳	12	[2020178](1)
基于深度学习的 ABAC 访问控制策略自动化生成技术.....	刘敖迪, 杜学绘, 王娜, 乔蕊	12	[2020212](8)
基于子图演化与改进蚁群优化算法的社交网络链路预测方法.....	顾秋阳, 琚春华, 吴功兴	12	[2020223](21)
面向区块链贸易系统的无管理者安全模型.....	黄龙霞, 王良民, 张功萱	12	[2020235](36)
基于动态图拉普拉斯的多标签特征选择.....	李永豪, 胡亮, 张平, 高万夫	12	[2020244](47)
基于软判决下的不删余极化码参数识别.....	吴昭军, 钟兆根, 张立民, 但波	12	[2020254](60)
基于多种提及关系的社交媒体用户位置推断.....	乔亚琼, 罗向阳, 马江涛, 李晨亮, 张萌, 李瑞祥	12	[2020229](72)
基于区块链的可溯源访问控制机制.....	谢绒娜, 李晖, 史国振, 郭云川, 张铭, 董秀则	12	[2020232](82)
基于相干双光频梳的微波光子信道化接收技术研究.....	陈博, 樊养余, 高永胜	12	[2020176](94)
面向多椭圆曲线的高速标量乘法器设计与实现.....	于斌, 黄海, 刘志伟, 赵石磊, 那宁	12	[2020226](100)
基于空时编码的轨道角动量复用海洋无线光通信系统的传输特性仿真.....	尹霄丽, 郑桐, 孙志雯, 张兆元	12	[2020253](110)

基于 DA 优化模糊神经网络的异构无线网络接入选择算法	钱志鸿, 冯一诺, 孙佳妮, 王 雪	12	[2020230](118)
基于 Cocks 身份密码体制的高效签密方案	彭长根, 张小玉, 丁红发, 杨善慧	12	[2020214](128)
基于证据间相似性的协作频谱感知方法与性能分析	孙志国, 任欣悦, 陈增茂, 刁 鸣	12	[2020245](139)
移动边缘网络中基于双深度 Q 学习的高能效资源分配方法	喻 鹏, 张俊也, 李文璟, 周凡钦, 丰 雷, 付 澍, 邱雪松	12	[2020218](148)
基于可见光通信的室内定位与定向系统	杨国伟, 黄兆标, 樊 冰, 周雪芳, 毕美华	12	[2020217](162)
基于双向 RNN 的私家车轨迹重构算法	肖 竹, 钱 鑫, 蒋洪波, 蔡成林, 曾凡仔	12	[2020227](171)

综 述

区块链技术研究综述: 原理、进展与应用	曾诗钦, 霍 如, 黄 韬, 刘 江, 汪 硕, 冯 伟	1	[2020027](134)
数据因果一致性研究综述	田俊峰, 王彦磊, 何欣枫, 张俊涛, 杨万贺, 庞亚南	3	[2020055](154)
融合 MEC 的星地协同网络: 架构、关键技术与挑战	唐琴琴, 谢人超, 刘 旭, 张亚生, 何 辞, 李诚成, 黄 韬	4	[2020082](162)
太赫兹通信技术综述	谢 莎, 李浩然, 李玲香, 陈 智, 李少谦	5	[2020107](168)
智能网联车网络安全研究综述	吴武飞, 李仁发, 曾 刚, 谢 勇, 谢国琪	6	[2020130](161)
无线超可靠低时延通信: 关键设计分析与挑战	伏玉笋, 杨根科	8	[2020154](187)
人工智能在移动通信中的应用: 挑战与实践	伏玉笋, 杨根科	9	[2020167](190)

杰青优青专栏

软件定义多维光网络研究进展与展望	郭 磊, 张 旭, 侯维刚, 刘业君, 张琦涵, 曹子峥	1	[2020010](152)
基于人工智能技术的光通信网络应用研究	沈纲祥	1	[2020004](162)
混沌保密光通信研究进展	义理林, 柯俊翔	3	[2020008](168)

学 术 通 信

基于改进卷积神经网络识别 DNS 隐蔽信道	张 猛, 孙昊良, 杨 鹏	1	[2020017](169)
基于 GNSS 邻域相似性的 5G 基站纳秒级时间同步技术研究	刘文学, 陈诗军, 葛 建, 袁 洪, 龚翠玲	1	[2020024](180)
基于迭代联合传输的超密集网络动态干扰协调方案	李晓娜, 王中方, 程 谦, 付婧雯, 张顺亮	2	[2020032](176)
基于区块链且支持验证的属性基搜索加密方案	闫玺玺, 原笑含, 汤永利, 陈艳丽	2	[2020011](187)
16QAM-LFM 雷达通信一体化信号设计	曾 浩, 吉利霞, 李 凤, 李 创	3	[2020050](182)

基于循环码和信息压缩融合的量子保密通信算法.....	马鸿洋, 张鑫, 徐鹏翱, 刘芬, 范兴奎	3	[2020059](190)
位置社交网络中谱嵌入增强的兴趣点推荐算法.....	刘真, 王娜娜, 王晓东, 孙永奇	3	[2020053](197)
基于自相似流量水平分级预测的网络队列调度算法.....	魏德宾, 沈婷, 杨力, 戚耀文	4	[2020066](182)
低轨卫星星座动态波束关闭算法.....	刘帅军, 胡月梅, 范春石, 凌腾, 刘立祥	4	[2020065](190)
大规模 MIMO 系统中基于谱分离的导频去污染.....	王海荣, 董健, 王玉辉	4	[2020073](197)
基于非平稳信号组合分析的故障诊断方法.....	陈哲, 胡玉其, 田世庆, 陆慧敏, 徐立中	5	[2020099](187)
基于自修正系数修匀法的网络安全态势预测.....	杨宏宇, 张旭高	5	[2020092](196)
高效的隐私保护在线人脸认证方案.....	李明, 杨晓鹏, 朱辉, 王枫为, 李祁	5	[2020087](205)
基于社会注意力机制的行人轨迹预测方法研究.....	李琳辉, 周彬, 连静, 周雅夫	6	[2020100](175)
基于 L-DHT 的多租户虚拟域隔离构建方法.....	曹利峰, 卢新, 高振升, 杜学绘	6	[2020088](184)
具有多参数恒 Lyapunov 指数谱的新型统一混沌系统.....	万求真, 周昭腾	6	[2020080](202)
基于上下文注意力 CNN 的三维点云语义分割.....	杨军, 党吉圣	7	[2020128](195)
基于分形特性的复杂网络全局效率估计方法.....	张胜, 戴维凯, 吴锋, 蓝文祥	7	[2020118](204)
物联网中认证技术研究.....	闫宏强, 王琳杰	7	[2020131](213)
基于联盟链的可搜索加密电子病历数据共享方案.....	牛淑芬, 刘文科, 陈俐霞, 王彩芬, 杜小妮	8	[2020116](204)
最佳零相关区序列集构造法.....	陈晓玉, 高茜超, 李永杰	8	[2020175](215)
分组马尔可夫叠加传输的神经网络译码.....	王千帆, 毕胜, 陈曾喆, 陈立, 马啸	9	[2020158](202)
时延有界的 PD-NOMA 物联网高可靠接入算法.....	徐朝农, 吴建雄, 徐勇军	9	[2020189](210)
基于能效最大的无线供电反向散射网络资源分配算法.....	徐勇军, 谷博文, 陈前斌, 林金朝	10	[2020132](202)
基于时序关系的社交网络影响最大化算法研究.....	陈晶, 祁子怡	10	[2020191](211)
基于伽马范数最小化的图像去噪算法.....	王洪雁, 王拓, 潘勉, 汪祖民	10	[2020190](222)
面向差异化 MTC 场景需求的随机接入方案.....	吴哲夫, 杨鑫源, 翟文超, 韩会梅	11	[2020222](176)
OAM 光通信路由器件研究.....	郭忠义, 潘珍珍, 龚超凡, 王子坤, 郭凯, 周红平	11	[2020184](185)
结合子空间旋转技术的非圆信号快速 DOA 估计.....	王薇, 张明, 姚博彬, 殷勤业, 穆鹏程	11	[2020208](198)
基于注意力机制的泊位占有率预测模型研究.....	.....	.....	.....
.....	王竹荣, 薛伟, 牛亚邦, 崔颖安, 孙钦东, 黑新宏	12	[2020241](182)
基于词相关性特征的多归属谱聚类突发事件检测.....	蒋伟进, 王扬, 刘晓亮, 吕斯健	12	[2020215](193)
基于交通流量预测的车联网双边拍卖边缘计算迁移方案.....	.....	.....	.....
.....	林艳, 闫帅, 张一晋, 李春国, 束锋	12	[2020252](205)

Journal on Communications

Contents List Vol.41 (2020)

Topics: Intelligent Mine

	No.	Pages
Research on key technologies of human-machine-environment states perception in mine Internet of things YUAN Liang, YU Xiao, DING Enjie, ZHAO Xiaohu, FENG Shimin, ZHANG Da, LIU Tongyu, WANG Weidong, HUANG Yanqiu	2	[2020036](1)
Multi-source information transmission and classification algorithm for equipment based on compressed sensing..... ZHAO Xiaohu, WANG Gang, SONG Boming, YU Jiacheng	2	[2020040](13)
Dynamic cache allocation routing strategy of Internet of things satellite node based on traffic prediction WANG Weidong, WANG Cheng, WANG Huiwen, XU Pin	2	[2020038](25)
Video description method based on multidimensional and multimodal information..... .....DING Enjie, LIU Zhongyu, LIU Yafeng, YU Wanli	2	[2020037](36)
Research and application of micropower safety monitoring IoT system for mine..... .....ZHANG Da, WANG Jinong, JI Hu, JI Hao, ZHAO Yunfeng	2	[2020034](44)
Precisely positioning method for roadheaders and robotic roadheader system..... .....LU Xinming, YAN Changqing, YUAN Zhaoping	2	[2020042](58)
Study on optical fiber multi-parameter sensor..... LIU Tongyu, LI Zhen, MENG Xiangjun, ZHAO Lin, WANG Fuqi, DONG Guofeng, WANG Jiqiang	2	[2020039](66)

Topics: Key Technologies of Edge Computing

Mobility aware edge service migration strategy.....WU Dapeng, LYU Ji, LI Zhidu, WANG Ruyan	4	[2020085](1)
Encrypted image retrieval in multi-key settings based on edge computing..... LI Yingying, MA Jianfeng, MIAO Yinbin	4	[2020086](14)
Resource allocation in NOMA heterogeneous network based on MEC ZHANG Haijun, ZHANG Zizheng, LONG Keping	4	[2020069] (27)
Hierarchical task offloading in heterogeneous cellular network: modeling and optimization ..........ZHAO Lindong, ZHUANG Wenqin, CHEN Jianxin, ZHOU Liang	4	[2020081] (34)
Virtual reality compressing and transmitting system based on mobile edge computing..... TAN Bin, ZHAO Songyuan, WU Jun, ZHANG Wenru	4	[2020076] (45)

Topics: Mobile AI

Overview on intelligent wireless communication technology..... LIANG Yingchang, TAN Junjie, Dusit Niyato	7	[2020145](1)
Survey on user's mobility behavior modelling in urban environment.....XU Fengli, LI Yong	7	[2020147](18)
Deep and robust resource allocation for random access network based with imperfect CSI..... WU Weihua, CHAI Guanhua, YANG Qinghai, LIU Runzi	7	[2020148](29)

Distributed interference coordination based on multi-agent deep reinforcement learning.....
 *LIU Tingting, LUO Yi'nan, YANG Chenyang* 7 [2020149](38)

Topics: Communication and Computing Fusion of Intelligent Emergency

Multi-channel QoT prediction method in wide-area optical backbone network based on ensemble learning
 *SUN Xiaochuan, LI Zhigang, ZHANG Minghui, GUI Guan* 9 [2020201](1)
 Deep reinforcement learning-based resource reservation algorithm for emergency Internet-of-things slice
 *SUN Guolin, OU Ruijie, LIU Guisong* 9 [2020200](8)
 User grouping and power allocation algorithm for UAV-aided NOMA network.....
 *LI Guoquan, LIN Jinzhao, XU Yongjun, HUANG Zhengwen, LIU Ting* 9 [2020194](21)

Topics: Convergence of Communications and Computing for the IoE

Resource management in blockchain-enabled heterogeneous edge computing system.....
 *ZHANG Ping, LI Shilin, LIU Yiming, QIN Xiaoqi, XU Xiaodong* 10 [2020206](1)
 Algorithm design on energy efficiency maximization for UAV-assisted edge computing.....
 *WU Qihui, WU Wei* 10 [2020204](15)
 Multiuser computation offloading for edge-cloud collaboration using submodular optimization.....
 *LIANG Bing, JI Wen* 10 [2020205](25)
 Service function chain embedding algorithm with wireless multicast in mobile edge computing network.....
 *WANG Kan, ZHAO Nan, LI Junhuai, WANG Huaijun* 10 [2020210](37)
 6G oriented blockchain based Internet of things data sharing and storage mechanism.....
 *JIANG Yu'na, GE Xiaohu, YANG Yang, WANG Chengxiang, LI Jie* 10 [2020211](48)
 Computation energy efficiency maximization based resource allocation scheme in wireless powered mobile
 edge computing network *SHI Liqin, YE Yinghui, LU Guangyue* 10 [2020182](59)

Topics: Key Technologies of Intelligent Wireless Communication for 6G

Challenges for beyond 5G: ultra-densification of radio access network.....
 *Fumiyuki Adachi, Ryo Takahashi, Hidenori Matsuo* 11 [2020240](1)
 Electromagnetic signal modulation recognition technology based on lightweight deep neural network.....
 *ZHANG Sicheng, LIN Yun, TU Ya, Shiwen Mao* 11 [2020237](12)
 Analysis of UAV wireless network coverage and handover performance.....
 *YIN Bonan, PENG Mugen, LIU Chenxi* 11 [2020236](22)

Papers

Dynamic service migration strategy based on MDP model with multiple parameter in vehicular edge network
 *GUO Hui, RUI Lanlan, GAO Zhipeng* 1 [2020012](1)
 Blind recognition of primitive BCH code based on average cosine conformity.....
 *WU Zhaojun, ZHANG Limin, ZHONG Zhaogen, LONG Yufeng* 1 [2020022](15)
 Compressed sensing reconstruction algorithm based on adaptive acceleration forward-backward pursuit
 *PAN Zuozhou, MENG Zong, LI Jing, SHI Ying* 1 [2020006](25)

Attack detection method based on spatiotemporal event correlation in intranet environment	1	[2020001](33)
..... SUN Wei, ZHANG Peng, HE Yongquan, XING Lichao		
Optimal strategy selection approach of moving target defense based on Markov time game	1	[2020003](42)
..... TAN Jinglei, ZHANG Hengwei, ZHANG Hongqi, LEI Cheng, JIN Hui		
Code-based generalized signcryption scheme with multi-receiver	1	[2020002](53)
..... HAN Yiliang, WANG Zhong		
Image restoration algorithm based on compensated transmission and adaptive haze concentration coefficient	1	[2020009](66)
..... YANG Yan, WANG Zhiwei		
Collaborative filtering recommendation algorithm based on rough set rule extraction	1	[2020028](76)
..... REN Yonggong, ZHANG Yunpeng, ZHANG Zhipeng		
Robust power and subcarrier allocation algorithm for cognitive network based on interference efficiency	1	[2020007](84)
maximization		
..... XU Yongjun, YANG Yang, LIU Qilie, CHEN Qianbin, LIN Jinzhao		
Impossible differential distinguisher analysis of GRANULE and MANTRA algorithm	1	[2020025](94)
..... WU Xiaonian, LI Yingxin, WEI Yongzhuang, SUN Yaping		
Mobile malware traffic detection approach based on value-derivative GRU	1	[2020005](102)
..... ZHOU Hanxun, CHEN Chen, FENG Runze, XIONG Junkun, PAN Hong, GUO Wei		
V2X offloading and resource allocation under SDN and MEC architecture	1	[2020023](114)
..... ZHANG Haibo, WANG Zixin, HE Xiaofan		
DGANS: robustness image steganography model based on double GAN	1	[2020019](125)
..... ZHU Leqing, GUO Yu, MO Lingqiang, ZHANG Daxing		
Model and application of cyberspace information system	2	[2020018](74)
..... WANG Jilong, ZHUANG Shuying, MIAO Congcong, AN Changqing		
Robust energy efficiency for SWIPT-enabled heterogeneous NOMA network	2	[2020029](84)
..... XU Yongjun, LI Guoquan, CHEN Qianbin, LIN Jinzhao		
Active deception defense method based on dynamic camouflage network	2	[2020026](97)
..... WANG Shuo, WANG Jianhua, PEI Qingqi, TANG Guangming, WANG Yang, LIU Xiaohu		
Attribute-based lightweight reconfigurable access control policy	2	[2020035](112)
..... XIE Rongna, LI Hui, SHI Guozhen, GUO Yunchuan		
Research on the spatial characterization of a 3D UAV air-to-ground channel model	2	[2020043](123)
..... ZHANG Zhi, XIONG Tianbo, CHEN Jianqiao, MA Nan		
Research on switch migration method based on minimum cost path	2	[2020030](131)
..... LAI Yingxu, PU Yewei, LIU Jing		
Network threat situation assessment based on unsupervised multi-source data feature analysis	2	[2020015](143)
..... YANG Hongyu, WANG Fengyan		
Traffic characteristic based privacy leakage assessment scheme for Android device	2	[2020020](155)
..... WANG Zhu, HE Kun, WANG Xinyu, NIU Ben, LI Fenghua		
Research on coreference resolution technology of entity in information security	2	[2020033](165)
..... ZHANG Han, HU Yongjin, GUO Yuanbo, CHEN Jicheng		
Blockchain-driven distributed consensus mechanism in defending Byzantine attack for the Internet of spectrum	3	[2020044] (1)
device		
..... YANG Jian, CHEN Xi, DING Guoru, ZHAO Hangsheng, ZHANG Linyuan, SUN Jiachen		
Heterogeneous executor scheduling algorithm for mimic cloud service	3	[2020052] (17)
..... PU Liming, LIU Shuxin, DING Ruihao, WANG Kai		

Direction convergence analysis of weighted rule for minor component extraction information criteria			
..... <i>DU Boyang, KONG Xiangyu, FENG Xiaowei</i>	3	[2020014]	(25)
Noise robust chi-square generative adversarial network	<i>LI Hongjun, LI Chaobo, ZHANG Shibing</i>	3	[2020041] (33)
Design of hybridly-connected hybrid precoding in millimeter-wave massive MIMO system			
..... <i>ZHAO Hongyu, YAO Hongyan</i>	3	[2020057]	(45)
Dummy location selection algorithm based on location semantics and query probability			
..... <i>WANG Jie, WANG Chunru, MA Jianfeng, LI Hongtao</i>	3	[2020061]	(53)
Fast copy-move forgery detection algorithm based on group SIFT			
..... <i>XIAO Bin, JING Ruxia, BI Xiuli, MA Jianfeng</i>	3	[2020045]	(62)
Research on maximizing energy efficiency for relay-aided D2D communication			
..... <i>WANG Xue, JIN Tao, QIAN Zhihong, HU Liangshuai, WANG Xin</i>	3	[2020048]	(71)
Block-based fair payment scheme under delegation computation			
..... <i>LI Ta, TIAN Youliang, XIANG Kang, GAO Hongfeng</i>	3	[2020046]	(80)
Ship detection optimization method in SAR imagery based on multi-feature weighting			
..... <i>ZHAO Quanhua, WANG Xiao, LI Yu, WANG Guanghui</i>	3	[2020013]	(91)
Research on scheduled WLAN MAC protocol with failure retries on RoF-DAS architecture			
..... <i>GUAN Zheng, XIONG Lei, JIA Yao, HE Min, YANG Zhijun</i>	3	[2020056]	(102)
Construction method of optimal codebook based on Zadoff-Chu matrix			
..... <i>LI Yubo, LIU Shengyi, ZHANG Jingjing, JIA Dongyan</i>	3	[2020021]	(112)
Method of quantitative assessment for diversified software system			
..... <i>YAO Yuan, PAN Chuanxing, ZHANG Zheng, ZHANG Gaofei</i>	3	[2020051]	(120)
Dynamic SDN controller placement based on latency in LEO satellite network			
..... <i>HAN Zhenzhen, ZHAO Guofeng, XU Chuan, ZHOU Wentao, ZHOU Yangyang</i>	3	[2020054]	(126)
Antenna selection algorithm based on cut-off rate for secure spatial modulation with finite alphabet input			
..... <i>DING Qingfeng, XI Tao, YANG Qian, DING Xu</i>	3	[2020047]	(136)
Online blind equalization algorithm with echo state network based on prediction principle			
..... <i>YANG Ling, HAN Qin, CHENG Li, ZHAO Aonan, DU Juan</i>	3	[2020031]	(145)
Novel navigation signal design based on spreading code time shift position modulation			
..... <i>KANG Jiayang, WANG Hongxing, LIU Xiguo, ZHONG Peilin, LI Bifeng</i>	4	[2020072]	(54)
Programmable semantic parsing approach for mimic arbitration			
..... <i>ZHANG Wenjian, SONG Ke, TAN Libo, WEI Shuai, DONG Chunlei</i>	4	[2020068]	(62)
Virtual network function deployment strategy based on improved genetic simulated annealing algorithm in MEC			
..... <i>CHEN Zhuo, FENG Gang, LIU Yijing, ZHOU Yang</i>	4	[2020074]	(70)
FDR coding and decoding algorithm for reliable transmission in underwater acoustic network			
..... <i>WANG Lijuan, DU Xiujuan, LI Chong</i>	4	[2020058]	(81)
RAW online regrouping method in IEEE 802.11ah protocol for industrial Internet of things			
..... <i>SUN Yanjing, YANG Junqiu, CHEN Yan, WANG Yanfen, CHEN Xiaojing, LIU Fengzhen, SUN Zhi</i>	4	[2020060]	(92)
Dynamic migration method of key virtual network function based on risk awareness			
..... <i>DING Shaohu, XIE Jichao, ZHANG Peng, PU Liming, GU Yunjie</i>	4	[2020063]	(102)

Public key searchable encryption scheme based on blockchain		
.....	<i>DU Ruizhong, TAN Ailun, TIAN Junfeng</i>	4 [2020070](114)
Trajectory differential privacy protection mechanism based on prediction and sliding window		
.....	<i>YE Ayong, MENG Lingyu, ZHAO Ziwen, DIAO Yiqing, ZHANG Jiaomei</i>	4 [2020049](123)
Noisy voice detection algorithm based on feature stream fusion		
.....	<i>LONG Hua, YANG Mingliang, SHAO Yubin</i>	4 [2020067](134)
Differential fault attack on FeW	<i>XIE Min, LI Jiaqi, TIAN Feng</i>	4 [2020077](143)
Traceable attribute-based encryption scheme with key-delegation abuse resistance		
.....	<i>YAN Xixi, HE Xu, LIU Tao, YE Qing, YU Jinxia, TANG Yongli</i>	4 [2020016](150)
Study on spectral representation and eigen-expansion based on eigen-operators		
.....	<i>WANG Hongyu, QIU Tianshuang</i>	5 [2020096](1)
Polar codes and polar processing for 6G wireless systems	<i>NIU Kai, DAI Jinchen, PIAO Jinnan</i>	5 [2020090](9)
Endogenous security architecture of Ethernet switch based on mimic defense		
.....	<i>SONE Ke, LIU Qinrang, WEI Shuai, ZHANG Wenjian, TAN Libo</i>	5 [2020098](18)
Image defogging algorithm based on guided filtering and adaptive tolerance		
.....	<i>JIN Xianli, ZHANG Wei, LIU Linfeng</i>	5 [2020078](27)
Fast-flucos: malicious domain name detection method for Fast-flux based on DNS traffic		
.....	<i>HAN Chunyu, ZHANG Yongzheng, ZHANG Yu</i>	5 [2020094](37)
Causal consistency model for distributed data store based on shared graph and partial replication strategy		
.....	<i>TIAN Junfeng, YANG Wanhe, PANG Ya'nan, ZHANG Juntao</i>	5 [2020079](48)
Multipath congestion control algorithm based on link capacity		
.....	<i>WANG Zhu, YUAN Qingyun, HAO Fanfan, FANG Liang, LI Fenghua</i>	5 [2020106](59)
Data access control policy of encrypted deduplication system	<i>JIA Chunfu, HA Guanxiong, LI Ruiqi</i>	5 [2020062](72)
Sparsity induced convex nonnegative matrix factorization algorithm with manifold regularization		
.....	<i>QIU Feiyue, CHEN Bowen, CHEN Tieming, ZHANG Guodao</i>	5 [2020064](84)
High-robustness keystroke recognition method based on acoustic spatial gradient		
.....	<i>LIU Ying, HAN Kangkang, QIAN Zhihong</i>	5 [2020095](96)
Radar emitter identification based on unintentional phase modulation on pulse characteristic		
.....	<i>QIN Xin, HUANG Jie, WANG Jiantao, CHEN Shiwen</i>	5 [2020084](104)
Terminal battery status information based fairness-aware SWIPT strategy	<i>HU Zhirui</i>	5 [2020089](112)
Infrared image segmentation algorithm based on distribution information intuitionistic fuzzy c-means		
clustering	<i>WANG Xiaofei, HU Fankui, HUANG Shuo</i>	5 [2020071](120)
Design for database access control mechanism based on blockchain	<i>FU Yonggui, ZHU Jianming</i>	5 [2020097](130)
Multi-constraints QoS routing optimization based on improved immune clonal shuffled frog leaping algorithm		
.....	<i>LU Yi, XU Mengying, ZHOU Jie</i>	5 [2020102](141)
Research on orbital angular momentum communication technology		
.....	<i>ZHENG Feng, CHEN Yijian, JI Siwei, DUAN Gaoming, YU Guanghui</i>	5 [2020108](150)
Network real-time scheduling algorithm based on multi-feature dynamic priority		
.....	<i>SU Xun, LI Yanfang, ZONG Ning, WEI Wei, LI Juan, DING Ying</i>	5 [2020091](159)

UAV deployment and caching scheme based on user preference prediction
*REN Jiazhi, TIAN Hui, FAN Shaoshuai, LIN Yuanzhuo, NIE Gaofeng, LI Jilong* 6 [2020104](1)

Provable security signcryption scheme based on RLWE without trapdoor
*LIU Zhen, HAN Yiliang, YANG Xiaoyuan, LIU Shuguang* 6 [2020093](14)

Hierarchical game based spectrum access optimization for anti-jamming in UAV network
*FAN Chaoqiong, ZHAO Chenglin, LI Bin* 6 [2020114](26)

Theoretical limit of link prediction using a combination method
*WU Yiteng, YU Hongtao, HUANG Ruiyang, LI Huawei* 6 [2020125](34)

Improved satellite resource allocation algorithm based on DRL and MOP
*ZHANG Pei, LIU Shuaijun, MA Zhiguo, WANG Xiaohui, SONG Junde* 6 [2020117](51)

Secure obfuscation for encrypted threshold signatures
*LI Yahong, WANG Caifen, ZHANG Yulei, YANG Xiaodong, HUANG Haiyan* 6 [2020129](61)

Link prediction method based on matching degree of resource transmission for complex network
*LIU Shuxin, LI Xing, CHEN Hongchang, WANG Kai* 6 [2020124](70)

Mimic defense authentication method for physical access control
*ZHOU Qinglei, BAN Shaohuan, HAN Yingjie, FENG Feng* 6 [2020115](80)

Method of unknown protocol classification based on autoencoder
*GU Chunxiang, WU Weisen, SHI Ya'nan, LI Guangsong* 6 [2020123](88)

Threshold re-encryption based secure deduplication method for cloud data with resistance against side channel attack
*TANG Xin, ZHOU Linna, SHAN Weijie, LIU Dan* 6 [2020103](98)

Data center traffic scheduling strategy based on Fibonacci tree optimization algorithm
*WANG Yaomin, WANG Xia, DONG Yi, ZHANG Songhai, SHI Xinling* 6 [2020075](112)

Intelligent detection method on network malicious traffic based on sample enhancement
*CHEN Tieming, JIN Chengqiang, LYU Mingqi, ZHU Tiantian* 6 [2020122](128)

Design of key technologies for intranet dynamic gateway based on DPDK
*CHEN Fucui, HE Weizhen, CHENG Guozhen, HUO Shumin, ZHOU Dacheng* 6 [2020126](139)

GAD: topology-aware time series anomaly detection
*QI Qi, SHEN Runye, WANG Jingyu* 6 [2020113](152)

Performance analysis of covert wireless communication based on beam forming with noise uncertainty
*LIN Yuda, JIN Liang, ZHOU You, LOU Yangming* 7 [2020137](49)

Design of next generation high throughput satellite communication system based on beam-hopping
*ZHANG Chen, ZHANG Gengxin, WANG Xianyu* 7 [2020083](59)

Privacy-preserving real-time road conditions monitoring scheme based on intelligent traffic
*LI Jiayin, GUO Wenzhong, LI Xiaoyan, LIU Ximeng* 7 [2020110](73)

User-centric energy efficiency fairness in backscatter-assisted wireless powered communication network
*YE Yinghui, SHI Liqin, LU Guangyue* 7 [2020133](84)

Method of ciphertext retrieval in mobile edge computing based on block segmentation
*WANG Na, ZHENG Kun, FU Junsong, LI Jian* 7 [2020142](95)

Novel adaptive generalized principal component analysis algorithm based on Hebbian rule
*GAO Yingbin, KONG Xiangyu, CUI Qiaohua, DONG Haidi* 7 [2020134](103)

Passive forensic based on spatio-temporal localization of video object removal tampering		
..... <i>CHEN Linqiang, YANG Quanxin, YUAN Lifeng, YAO Ye, ZHANG Zhen, WU Guohua</i>	7	[2020151](110)
Optimum response scheme of intrusion detection based on information theory.....		
..... <i>TIAN Youliang, WU Yulong, LI Qiuxian</i>	7	[2020111](121)
Energy efficiency optimization algorithm for heterogeneous NOMA network based on imperfect CSI.....		
..... <i>XU Yongjun, XIE Hao, CHEN Qianbin, LIN Jinzhao, LIU Qilie</i>	7	[2020101](131)
Research on intelligent computing offloading model based on reputation value in mobile edge computing		
..... <i>QI Jin, SUN Hairong, GONG Kun, XU Bin, ZHANG Shunyi, SUN Yanfei</i>	7	[2020105](141)
Routing optimization method based on GPCR for vehicular Ad Hoc network.....		
..... <i>GU Zhiru, LI Min, LONG Yonghong, SHU Xiaohua, RONG Qing</i>	7	[2020144](152)
Interference avoidance strategy for ultra dense network with pilot reuse.....		
..... <i>HUANG Jie, YANG Fan, GAO Yiwen, ZHANG Bowei</i>	7	[2020120](165)
Non-cooperative signal modulation recognition algorithm based on joint feature parameter extraction.....		
..... <i>SI Haifei, HU Xingliu, SHI Zhen, LI Shiyong</i>	7	[2020138](172)
Evaluation of mimic defense strategy based on M-FlipIt game model.....	<i>DING Shaohu, QI Ning, GUO Yiwei</i>	7 [2020136](186)
Adaptive SDN switch migration mechanism based on coalitional game.....	<i>YAO Lan, LAN Julong</i>	8 [2020161](1)
State recovery attack on ACORN v3 in nonce-reuse setting.....		
..... <i>ZHANG Guoshuang, CHEN Xiao, LIN Dongdai, LIU Fengmei</i>	8	[2020164](11)
Second fitness selection QPSO and SA cooperative search for large-scale discrete optimization algorithm		
..... <i>ZHANG Zhaojuan, WANG Wanliang, TANG Jijun</i>	8	[2020173](22)
Research on active defense based on multi-stage cyber deception game.....		
..... <i>HU Yongjin, MA Jun, GUO Yuanbo, ZHANG Han</i>	8	[2020112](32)
Sequential image deep learning-based Wi-Fi human activity recognition method.....		
..... <i>ZHOU Qizhen, XING Jianchun, YANG Qiliang, HAN Deshuai</i>	8	[2020141](43)
Research on data encryption system and technology for cloud storage.....		
..... <i>HAN Peiyi, LIU Chuanyi, WANG Jiahui, DUAN Shaoming, PAN Hezhong, FANG Binxing</i>	8	[2020140](55)
Decision-aided-based multiple blind PN code estimation algorithm of asynchronous CDMA signal.....		
..... <i>QIU Zhaoyang, LI Tianyun, CHEN Xiangming</i>	8	[2020163](66)
Resource optimization of secure energy efficiency based on mmWave massive MIMO-NOMA system with		
SWIPT.....	<i>ZHAO Fei, HAO Wanming, SUN Gangcan, ZHOU Yiqing, WANG Fei, WANG Yi</i>	8 [2020169](79)
Evaluation method for autonomous communication and networking capability of UAV.....		
..... <i>ZHAO Haitao, GAO Shishun, WANG Haijun, YONG Ting, WEI Jibo</i>	8	[2020143](87)
Tensor-based approach to the co-prime planar array signal processing.....	<i>RAO Wei, GUI Yufeng, LI Dan</i>	8 [2020153](99)
Fault detection and diagnosis method for heterogeneous wireless network based on GAN.....		
..... <i>ZHU Xiaorong, ZHANG Peipei</i>	8	[2020165](110)
Location based routing addressing mechanism of integrated satellite and terrestrial network.....		
..... <i>LI Hewu, LIU Lixin, LIU Jun, WU Qian</i>	8	[2020135](120)
Local outlier factor algorithm based on correction of bidirectional neighbor.....		
..... <i>YANG Xiaohui, LIU Xiaoming</i>	8	[2020119](130)
Optimization scheme for the SWIPT-NOMA opportunity cooperative system.....		
..... <i>LI Taoshen, NING Qianli, WANG Zhe</i>	8	[2020109](141)

CMDC: an iterative algorithm for complementary multi-view document clustering		
..... HUANG Ruizhang, BAI Ruina, CHEN Yanping, QIN Yongbin, CHENG Xinyu, TIAN Youliang	8	[2020152](155)
Multi-scale aware dual path network for face detection in resource-constrained edge computing environment		
..... QI Qi, MA Yingxin, WANG Jingyu, SUN Haifeng, LIAO Jianxin	8	[2020177](165)
Multi-dimensional secure query scheme for fog-enhanced IIoT	8	[2020127](175)
Cross-domain access control policy mapping mechanism for balancing interoperability and autonomy		
..... ZHU Tianyi, LI Fenghua, JIN Wei, GUO Yunchuan, FANG Liang, CHENG Lin	9	[2020157](29)
Channel impulse response insensitive feature for non-coherent signal detection in molecular communication		
..... XIAO Limin, XU Xiangrong, WEI Zhuangkun, LIU Shenghan, LIU Yiwen	9	[2020171](49)
Method to generate cyber deception traffic based on adversarial sample		
..... HU Yongjin, GUO Yuanbo, MA Jun, ZHANG Han, MAO Xiuqing	9	[2020166](59)
Wired and single sideband wireless service based on a single optical modulator		
..... LI Weiping, KONG Miao, WANG Yanyi, YU Jianjun	9	[2020202](71)
Privacy-preserving multi-attribute reverse spectrum auction scheme		
..... WANG Jiaqi, LU Ning, CHENG Qingfeng, WU Zhaoxia, SHI Wenbo	9	[2020121](77)
Construction method of double unicast network coding	9	[2020139](92)
Research on sybil attack in defense blockchain based on improved PBFT algorithm		
..... LAI Yingxu, BO Zunxu, LIU Jing	9	[2020170](104)
Verifiable multi-keyword search scheme based on improved Merkle-Tree authentication method		
..... TIAN Youliang, LUO Qin	9	[2020146](118)
Cooperative caching algorithm of UAV and user in UAV-assisted cellular network		
..... ZHANG Tiankui, CHEN Chao, WANG Ziduan, YANG Dingcheng	9	[2020198](130)
Power allocation algorithm of full duplex cognitive relay network based on energy harvesting		
..... ZHANG Shibing, HAN Liuke, ZHANG Meijuan	9	[2020168](139)
Analysis of coverage probability in NOMA-HetNet based on Matern cluster process		
..... JING Xiaorong, CHEN Yixi, CHEN Qianbin	9	[2020150](147)
Network intrusion intention analysis model based on Bayesian attack graph		
..... LUO Zhiyong, YANG Xu, LIU Jiahui, XU Rui	9	[2020172](160)
Dual-target WOA spectrum sharing algorithm based on Stackelberg game		
..... ZHANG Li, LIAO Tian, HE Yejun	9	[2020156](170)
Design and research of adaptive O-OFDM symbol decomposing with serial transmission system in visible light communication		
..... JIA Kejun, YANG Boran, CAO Minghua, LI Suoping, HAO Li	9	[2020179](179)
Cross-dataset person re-identification method based on multi-pool fusion and background elimination network		
..... LI Yanfeng, ZHANG Bin, SUN Jia, CHEN Houjin, ZHU Jinlei	10	[2020181](70)
Knowledge triple extraction in cybersecurity with adversarial active learning		
..... LI Tao, GUO Yuanbo, JU Ankang	10	[2020174](80)
Load prediction based elastic resource scheduling strategy in Flink		
..... LI Ziyang, YU Jiong, WANG Yuefei, BIAN Chen, PU Yonglin, ZHANG Yitian, LIU Yu	10	[2020195](92)
Federated learning based intelligent edge computing technique for video surveillance		
..... ZHAO Yu, YANG Jie, LIU Miao, SUN Jinlong, GUI Guan	10	[2020192](109)
Time deterministic routing algorithm and protocol based on time-varying graph over the space-ground		
integrated network	10	[2020188](116)
..... LI Hongyan, ZHANG Tao, ZHANG Jingqian, SHI Keyi, ZENG Pengcheng		

Chaotic sequence based polar code encrypted scheme in negative secrecy capacity case			
..... ZHANG Xiaohui, ZHANG Shunliang, LI Bowen	10	[2020187](130)	
Secrecy performance analysis on cooperative CR-NOMA network			
..... YANG Zhen, ZHU Mengyao, FENG Youhong	10	[2020180](139)	
Research on improving deep space communication using hybrid RF-FSO system			
..... LIU Hongzhan, JIANG Ting, HAO Yuan	10	[2020185](148)	
Design of precoding matrices in MIMO full duplex two-way security communication system			
..... LEI Weijia, ZHOU Yang, XIE Xianzhong, LEI Hongjiang	10	[2020155](156)	
Task distribution offloading algorithm of vehicle edge network based on DQN			
..... ZHAO Haitao, ZHANG Tangwei, CHEN Yue, ZHAO Houlin, ZHU Hongbo	10	[2020160](172)	
Research on the system error performance of coherent orthogonal frequency division multiplexing system with M-distribution in satellite-to-ground laser communication			
..... WANG Yi, WANG Yaping	10	[2020197](179)	
Towards edge-collaborative, lightweight and secure region proposal network			
..... XIONG Jinbo, BI Renwan, CHEN Qianxin, LIU Ximeng	10	[2020186](188)	
Bit-filling algorithm for fast subcarrier-selecting in ultrasonic through-metal communication			
..... XU Linsen, YANG Wei, TIAN Hongxian, WU Tao	11	[2020228](30)	
Priority differentiated multicast flow scheduling method in Ceph cloud storage network			
..... KE Wenlong, WANG Yong, YE Miao, CHEN Junqi	11	[2020233](40)	
Delay and energy minimization for MEC-based secure communication			
..... REN Pinyi, XU Qian	11	[2020219](52)	
Cooperative content downloading scheme based on D2D multicast communications			
..... YANG Lianxin, WU Dan, YUAN Feng, YUE Chao, FU Qinxue	11	[2020221](64)	
Discovering the backbone network with a novel designed ant colony algorithm			
..... LYU Fang, BAI Jun, HUANG Junheng, WANG Bailing	11	[2020207](74)	
Endogenous trusted network architecture for intelligent sharing			
..... GUO Shaoyong, QI Yuanyuan, DAI Meiling, QIU Xuesong, QI Feng, ZHANG Ping	11	[2020193](86)	
Optimization of multipath transmission path scheduling based on forward delay in vehicular heterogeneous network			
..... ZHAO Haitao, CHEN Yue, ZHANG Tangwei, ZHU Qixing, ZHU Hongbo	11	[2020162](99)	
Study on generation of turbulence-distorted received signals in OAM optical communications obeying dual Johnson S_B distribution			
..... CHEN Chunyi, XIONG Qinqin, YU Haiyang, YAO Haifeng, SONG Jiaxue, LOU Yan	11	[2020183](108)	
Improved variable step-size LMS algorithm based on hyperbolic tangent function			
..... ZHANG Jianwu, YU Hao, ZHANG Qianhua	11	[2020224](116)	
Group-scheduling mechanism for large-scale time-sensitive network			
..... QIU Xuesong, HUANG Xuchuan, LI Wencui, LI Wenjing, GUO Shaoyong	11	[2020203](124)	
Application of bilateral fusion model based on CNN in hyperspectral image classification			
..... GAO Hongmin, CAO Xueying, YANG Yao, HUA Zaijun, LI Chenming	11	[2020238](132)	
Novel opportunistic cooperative multicast scheme for NOMA			
..... LU Yin, CHEN Jirong, BIAN Haowei, ZHU Hongbo	11	[2020239](141)	
Blockchain trading mechanism based on attached chain for the delay tolerant network			
..... ZI Lingling, CONG Xin	11	[2020234](151)	
Intrusion detection model of random attention capsule network based on variable fusion			
..... ZHANG Xinglan, YIN Shenglin	11	[2020220](160)	

Constructions of rotation symmetric 2-resilient functions with $4t-1$ number of variables
..... *DU Jiao, LIU Chunhong, PANG Shanqi* 11 [2020213](169)

Study of a new code set in multi-rate CDMA VLC system
..... *WANG Jianping, CHEN Danyang, LU Huimin, JIN Jianli, FENG Lifang* 12 [2020178](1)

ABAC access control policy generation technique based on deep learning
..... *LIU Aodi, DU Xuehui, WANG Na, QIAO Rui* 12 [2020212](8)

Social network link prediction method based on subgraph evolution and improved ant colony optimization algorithm
..... *GU Qiuyang, JU Chunhua, WU Gongxing* 12 [2020223](21)

Security model without managers for blockchain trading system
..... *HUANG Longxia, WANG Liangmin, ZHANG Gongxuan* 12 [2020235](36)

Multi-label feature selection based on dynamic graph Laplacian
..... *LI Yonghao, HU Liang, ZHANG Ping, GAO Wanfu* 12 [2020244](47)

Recognition of non-drilled polar codes based on soft decision
..... *WU Zhaojun, ZHONG Zhaogen, ZHANG Limin, DAN Bo* 12 [2020254](60)

Social media user geolocalization based on multiple mention relationships
..... *QIAO Yaqiong, LUO Xiangyang, MA Jiangtao, LI Chenliang, ZHANG Meng, LI Ruixiang* 12 [2020229](72)

Blockchain-based access control mechanism for data traceability
..... *XIE Rongna, LI Hui, SHI Guozhen, GUO Yunchuan, ZHANG Ming, DONG Xiuze* 12 [2020232](82)

Research on microwave photonic channelization receiving technology based on dual coherent optical frequency comb
..... *CHEN Bo, FAN Yangyu, GAO Yongsheng* 12 [2020176](94)

Design and implementation of high-speed scalar multiplier for multi-elliptic curve
..... *YU Bin, HUANG Hai, LIU Zhiwei, ZHAO Shilei, NA Ning* 12 [2020226](100)

Simulation of transmission characteristics of oceanic wireless optical communication systems based on orbital angular momentum multiplexing with space-time coding
..... *YIN Xiaoli, ZHENG Tong, SUN Zhiwen, ZHANG Zhaoyuan* 12 [2020253](110)

Access selection algorithm for heterogeneous wireless network based on DA optimized fuzzy neural network
..... *QIAN Zhihong, FENG Yinuo, SUN Jiani, WANG Xue* 12 [2020230](118)

Efficient signcryption scheme based on Cocks' identity cryptosystem
..... *PENG Changgen, ZHANG Xiaoyu, DING Hongfa, YANG Shanhui* 12 [2020214](128)

Cooperative spectrum sensing method and performance analysis based on similarity between evidences
..... *SUN Zhiguo, REN Xinyue, CHEN Zengmao, DIAO Ming* 12 [2020245](139)

Energy-efficient resource allocation method in mobile edge network based on double deep Q-learning
..... *YU Peng, ZHANG Junye, LI Wenjing, ZHOU Fanqin, FENG Lei, FU Shu, QIU Xuesong* 12 [2020218](148)

Indoor positioning and orientating system based on visible light communication
..... *YANG Guowei, HUANG Zhaobiao, FAN Bing, ZHOU Xuefang, BI Meihua* 12 [2020217](162)

Bidirectional RNN-based private car trajectory reconstruction algorithm
..... *XIAO Zhu, QIAN Xin, JIANG Hongbo, CAI Chenglin, ZENG Fanzi* 12 [2020227](171)

Comprehensive Reviews

Survey of blockchain: principle, progress and application
..... *ZENG Shiqin, HUO Ru, HUANG Tao, LIU Jiang, WANG Shuo, FENG Wei* 1 [2020027](134)

Survey on the causal consistency of data		
..... <i>TIAN Junfeng, WANG Yanbiao, HE Xinfeng, ZHANG Juntao, YANG Wanhe, PANG Ya'nan</i>	3	[2020055](154)
MEC enabled satellite-terrestrial network: architecture, key technique and challenge		
..... <i>TANG Qinqin, XIE Renchao, LIU Xu, ZHANG Yasheng, HE Ci, LI Chengcheng, HUANG Tao</i>	4	[2020082](162)
Survey of terahertz communication technology	5	[2020107](168)
Survey of the intelligent and connected vehicle cybersecurity		
..... <i>WU Wufei, LI Renfa, ZENG Gang, XIE Yong, XIE Guoqi</i>	6	[2020130](161)
Wireless ultra-reliable and low-latency communication: key design analysis and challenge		
..... <i>FU Yusun, YANG Genke</i>	8	[2020154](187)
Application of artificial intelligence in mobile communication: challenge and practice		
..... <i>FU Yusun, YANG Genke</i>	9	[2020167](190)

Distinguished and Excellent Young Scholars

Research progress and prospect of software-defined multi-dimensional optical network		
..... <i>GUO Lei, ZHANG Xu, HOU Weigang, LIU Yejun, ZHANG Qihan, CAO Zizheng</i>	1	[2020010](152)
Application research of optical communication network based on artificial intelligence technique		
..... <i>SHEN Gangxiang</i>	1	[2020004](162)
Research progress of chaotic secure optical communication	3	[2020008](168)

Correspondences

Identification of DNS covert channel based on improved convolutional neural network		
..... <i>ZHANG Meng, SUN Haoliang, YANG Peng</i>	1	[2020017](169)
Research on nanosecond time synchronization technology for 5G base station based on GNSS neighborhood similarity	1	[2020024](180)
Dynamic interference coordination scheme based on the iterative joint transmission in ultra dense network		
..... <i>LI Xiaona, WANG Zhongfang, CHENG Qian, FU Jingwen, ZHANG Shunliang</i>	2	[2020032](176)
Verifiable attribute-based searchable encryption scheme based on blockchain		
..... <i>YAN Xixi, YUAN Xiaohan, TANG Yongli, CHEN Yanli</i>	2	[2020011](187)
16QAM-LFM waveform design for integrated radar and communication		
..... <i>ZENG Hao, JI Lixia, LI Feng, LI Chuang</i>	3	[2020050](182)
Quantum secure communication algorithm based on cyclic code and information compression		
..... <i>MA Hongyang, ZHANG Xin, XU Peng'ao, LIU Fen, FAN Xingkui</i>	3	[2020059](190)
Spectral clustering and embedding-enhanced POI recommendation in location-based social network		
..... <i>LIU Zhen, WANG Na'na, WANG Xiaodong, SUN Yongqi</i>	3	[2020053](197)
Network queue scheduling algorithm based on self-similar traffic level grading prediction		
..... <i>WEI Debin, SHEN Ting, YANG Li, QI Yaowen</i>	4	[2020066](182)
Dynamic beam shut-off algorithm for LEO satellite constellation		
..... <i>LIU Shuaijun, HU Yuemei, FAN Chunshi, LING Teng, LIU Lixiang</i>	4	[2020065](190)
Pilot decontamination based on spectrum separation in massive MIMO system		
..... <i>WANG Hairong, DONG Jian, WANG Yuhui</i>	4	[2020073](197)

Non-stationary signal combined analysis based fault diagnosis method
..... *CHEN Zhe, HU Yuqi, TIAN Shiqing, LU Huimin, XU Lizhong* 5 [2020099](187)

Self-corrected coefficient smoothing method based network security situation prediction
..... *YANG Hongyu, ZHANG Xugao* 5 [2020092](196)

Efficient and privacy-preserving online face authentication scheme
..... *LI Ming, YANG Xiaopeng, ZHU Hui, WANG Fengwei, LI Qi* 5 [2020087](205)

Research on pedestrian trajectory prediction method based on social attention mechanism
..... *LI Linhui, ZHOU Bin, LIAN Jing, ZHOU Yafu* 6 [2020100](175)

Multi-tenant virtual domain isolation construction method based on L-DHT
..... *CAO Lifeng, LU Xin, GAO Zhensheng, DU Xuehui* 6 [2020088](184)

Novel unified chaotic system with multi-parameter invariable Lyapunov exponent spectrum
..... *WAN Qiuzhen, ZHOU Zhaoteng* 6 [2020080](202)

Semantic segmentation of 3D point cloud based on contextual attention CNN *YANG Jun, DANG Jisheng* 7 [2020128](195)

Global efficiency estimation method of complex network based on fractal property
..... *ZHANG Sheng, DAI Weikai, WU Feng, LAN Wenxiang* 7 [2020118](204)

Research of authentication techniques for the Internet of things *YAN Hongqiang, WANG Linjie* 7 [2020131](213)

Electronic medical record data sharing scheme based on searchable encryption via consortium blockchain
..... *NIU Shufen, LIU Wenke, CHEN Lixia, WANG Caifen, DU Xiaoni* 8 [2020116](204)

Construction of optimal zero correlation zone sequence set *CHEN Xiaoyu, GAO Xichao, LI Yongjie* 8 [2020175](215)

Neural network decoding of the block Markov superposition transmission
..... *WANG Qianfan, BI Sheng, CHEN Zengzhe, CHEN Li, MA Xiao* 9 [2020158](202)

Highly reliable access algorithm for PD-NOMA based IoT with delay guarantee
..... *XU Chaonong, WU Jianxiong, XU Yongjun* 9 [2020189](210)

Energy efficiency maximization resource allocation algorithm in wireless-powered backscatter communication network
..... *XU Yongjun, GU Bowen, CHEN Qianbin, LIN Jinzhao* 10 [2020132](202)

Research on social network influence maximization algorithm based on time sequential relationship
..... *CHEN Jing, QI Ziyi* 10 [2020191](211)

Gamma norm minimization based image denoising algorithm
..... *WANG Hongyan, WANG Tuo, PAN Mian, WANG Zumin* 10 [2020190](222)

Random access scheme for different MTC scenario requirement
..... *WU Zhefu, YANG Xinyuan, ZHAI Wenchao, HAN Huimei* 11 [2020222](176)

Research on router device of OAM optical communication
..... *GUO Zhongyi, PAN Zhenzhen, GONG Chaofan, WANG Zikun, GUO Kai, ZHOU Hongping* 11 [2020184](185)

Computationally efficient direction-of-arrival estimation of non-circular signal based on subspace rotation technique
..... *WANG Wei, ZHANG Ming, YAO Bobin, YIN Qinye, MU Pengcheng* 11 [2020208](198)

Research on berth occupancy prediction model based on attention mechanism
..... *WANG Zhurong, XUE Wei, NIU Yabang, CUI Ying'an, SUN Qindong, HEI Xinhong* 12 [2020241](182)

Multi-attribute spectral clustering emergency detection based on word correlation feature
..... *JIANG Weijin, WANG Yang, LIU Xiaoliang, LYU Sijian* 12 [2020215](193)

Flow-of-traffic prediction program based mobile edge computing for Internet of vehicles using double auction
..... *LIN Yan, YAN Shuai, ZHANG Yijin, LI Chunguo, SHU Feng* 12 [2020252](205)

致 谢

《通信学报》自 1980 年创刊以来,承蒙各位专家学者的支持和厚爱,为我刊审阅了大量来稿。在新年到来之际,我们谨向 2020 年关心和支持我刊,在百忙中为我刊审稿的专家学者致以崇高的敬意和深深的感谢。希望各位专家能继续支持我们的工作,感谢你们付出的辛勤劳动! 恭祝各位专家新年快乐!

2020 审稿专家名单

(如有遗漏敬请包涵,排名不分先后)

艾 渤 安辉耀 安 鹏 白宝明 白恩健 白文乐 白智全 包建荣 鲍长春 蔡 康 蔡文郁 蔡岳平
蔡跃明 蔡忠闽 曹 政 柴争义 陈 兵 陈 波 陈 晨 陈纯毅 陈德旺 陈东明 陈恩庆 陈光祯
陈海光 陈海华 陈宏滨 陈后金 陈嘉兴 陈 晶 陈鲁生 陈美娟 陈 明 陈宁江 陈庆章 陈山枝
陈铁明 陈 翔 陈晓江 陈秀波 陈玉玲 陈 哲 陈智雄 谌 刚 程 剑 程杰仁 仇洪冰 代 彬
邓晓衡 丁恩杰 丁世飞 丁宇新 董 俊 董晓梅 董 颖 杜 蛟 杜军平 杜 坤 杜瑞颖 端木春江
段琢华 范九伦 方 娟 方 巍 冯 径 冯兴乐 付安民 付绍静 付 伟 付 钰 傅建明 甘早斌
高 隼 高 胜 高铁杠 高新波 高振国 戈立军 葛俊祥 耿光刚 龚海刚 龚 俭 龚 征 谷大武
顾仁涛 官 科 管 武 桂 冠 郭 滨 郭 昆 郭 磊 郭 萍 郭 庆 郭迎春 韩益亮 何德彪
何 明 何业军 贺玉成 黑新宏 洪 飞 胡进峰 胡青松 胡绍海 胡学先 胡 勇 胡宇翔 胡致远
华 光 华惊宇 黄 胜 黄传河 黄海生 黄华军 黄开枝 黄梦醒 黄勤龙 黄小红 吉根林 纪其进
纪守领 冀保峰 贾春福 蒋国平 蒋 鹏 蒋盛益 金晨辉 金 梁 靳小龙 康海燕 柯熙政 兰巨龙
兰旭辉 郎为民 李爱平 李博涵 李春国 李德识 李风华 李光辉 李 晖 李 晖 李慧贤 李继国
李建更 李建华 李 剑 李军怀 李领治 李 宁 李 强 李仁发 李融林 李少谦 李陶深 李 伟
李伟生 李相平 李兴华 李旭杰 李学恩 李英善 李 勇 李勇军 李正权 李致远 李智勇 梁国龙
廖建新 林 晖 林金朝 林 敏 刘安丰 刘伯阳 刘纯平 刘功亮 刘宏展 刘连山 刘林峰 刘 留
刘 淼 刘奇旭 刘 全 刘绍辉 刘婷婷 刘小明 刘晓光 刘星成 刘徐迅 刘玉岭 刘 渊 龙 军
鲁宏伟 鲁剑锋 罗洪斌 罗 娟 罗军舟 马春光 马东堂 马建峰 毛 东 门朝光 孟维晓 孟祥武
牛 犇 牛少彰 牛奕龙 潘长勇 潘 俊 潘 炜 庞辽军 庞 宇 彭长根 彭俊杰 彭荣群 彭 伟

彭 鑫 普园媛 亓 晋 齐丽娜 钱丽萍 钱亚冠 钱志鸿 卿朝进 邱恭安 邱卫东 沙学军 邵建华
 余 堃 沈 超 沈 华 沈连丰 沈庆国 沈苏彬 舒 坚 宋广佳 宋铁成 宋婷婷 孙冬艳 孙国林
 孙金龙 孙学宏 孙彦景 孙怡峰 谈 玲 汤 琦 唐 明 唐振民 滕志军 田 峰 田 辉 田俊峰
 田有亮 汪一鸣 王 标 王 彬 王 琛 王春悦 王尔馥 王尔申 王方伟 王公仆 王海明 王海涛
 王惠琴 王 坚 王 健 王敬宇 王良民 王 琳 王 凌 王明军 王汝言 王仕果 王天枢 王万良
 王卫东 王向阳 王 燕 王 毅 王永建 王永全 王 勇 王 勇 王昭顺 王 震 王祖林 魏立斐
 文伟平 吴 凡 吴家皋 吴 俊 吴礼发 吴 蒙 吴 强 吴素萍 吴 巍 吴晓平 吴宣利 吴 怡
 吴玉成 吴哲夫 吴振强 吴志军 伍仁勇 武 刚 武 刚 席 亮 向朝参 肖利民 肖绍球 谢显中
 邢成文 熊金波 熊 余 徐 敬 徐立中 徐少毅 徐伟强 徐位凯 许 威 许晓荣 薛向阳 延志伟
 闫成新 严迎建 杨晨阳 杨高波 杨恒伏 杨 健 杨 洁 杨 军 杨 力 杨 强 杨亚涛 杨 哲
 杨 震 姚念民 叶阿勇 叶 苗 易 鸣 余乐军 余礼苏 禹 勇 袁 琪 袁 巍 曾 琦 曾 勇
 詹 杰 张宝富 张长江 张 达 张大龙 张登银 张更新 张 恒 张焕国 张军平 张 科 张 磊
 张立军 张连明 张士兵 张 薇 张文彬 张文生 张应辉 张迎周 张颖君 张友春 张玉清 张载龙
 张志龙 张治中 张自力 章嘉懿 章坚武 赵海涛 赵小强 赵晓晖 赵永利 赵 跃 郑福春 郑国强
 郑 凯 郑学强 仲 红 周建江 周 杰 周南润 周庆国 周四望 周一青 周 宇 周志刚 朱巧明
 朱世磊 朱晓荣 朱扬勇 朱政宇 诸葛斌 邹德清

收录声明

本刊对发表的文章,拥有出版电子版、网络版版权,并拥有和其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬中已经包含上述费用。

Journal on Communications has the copyright to publish electronic edition, online edition of the published articles, and has the right to exchange information with other sites. The expenses have been included in the fee paid by editorial department.

道德声明

本刊发表的论文是作者独立取得的原创性研究成果,无一稿多投;论文内容不涉及国家机密;未曾以任何形式用任何文种在国内外公开发表过;论文内容不侵犯他人著作权和其他权利。若发生一稿多投、侵权、泄密等问题,论文作者将承担全部责任。

The authors of *Journal on Communications* guarantee that their submitted articles are original and contain nothing confidential. The said article is only submitted to *Journal on Communications*. The said article has not been published before and has not been submitted elsewhere for print or electronic publication consideration. The said article is no way whatever a violation or an infringement of any existing copyright or license from the third party. Otherwise, the authors of the said article shall take the blame for the violation or infringement of the related copyright and the leakage of secrets.

通信学报

Journal on Communications



发行代号：
国内2-676
国外M395

2020年12月25日出版 定价：98.00元

ISSN 1000-436X



9 771000 436205