



一种新型卸载方案：基于停泊车辆中继的车载边缘任务卸载方案

董培养¹, 赵军辉^{1,2}, 邹丹¹, 孙笑科²

(1. 华东交通大学信息工程学院, 江西 南昌 330013;
2. 北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要：车载边缘计算 (vehicular edge computing, VEC) 是一种可实现车联网低时延和高可靠性的关键技术。VEC 可解决车载终端计算能力不足的问题, 同时可减少车联网通信服务时延, 避免路边停泊车辆自身大量空闲资源浪费。提出基于停泊车辆中继的车载任务卸载方案, 通过合理部署边缘服务器和引入协作中继技术, 可将车联网通信过程中的时延降低至毫秒级。仿真结果表明, 与传统的车与基础设施 (vehicle to infrastructure, V2I) 卸载方案相比, 基于停泊车辆中继的车载任务卸载方案可将通信时延降低 20%。

关键词：车辆边缘计算; 静态中继; 卸载方案

中图分类号：TN929.5

文献标识码：A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019055

A new offloading paradigm: vehicular edge task offloading based on parked vehicles relay

DONG Peiyang¹, ZHAO Junhui^{1,2}, ZOU Dan¹, SUN Xiaoke²

1. School of Information Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China

2. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: Vehicular edge computing (VEC) is a key technology that can realize low latency and high reliability in vehicular network. VEC can solve the problem of insufficient computing of vehicle terminals, and reduce the communication service delay of vehicular network, avoiding a large amount of waste of free resources in parked vehicles on the road. A task offloading scheme based on parked vehicles relay was proposed, which could reduce the delay in vehicles' communication process into the millisecond level by rationally deploying the edge server and introducing the cooperative relay technology. Numerical results indicate that compared to direct V2I offloading model, the communication delay can be reduced by 20% in the parked vehicle relay transmission.

Key words: vehicular edge computing, static relay, offloading scheme

收稿日期: 2018-12-20; 修回日期: 2019-03-08

基金项目：江西省主要学科学术和技术带头人资助计划项目 (No.20172BCB22016); 江西省重点研发计划项目 (No.20171BBE50057); 江西省交通运输厅科技项目 (No.2016D0037); 江西省高等学校教学改革研究省级课题 (NO.JXJG-16-5-7); 江西省教育科学“十三五”规划课题 (No.17YB056); 江西省 2018 年度研究生创新专项资金项目 (No.YC2018-S253)

Foundation Items: The Jiangxi Provincial Cultivation Program for Academic and Technical Leaders of Major Subjects (No.20172BCB22016), The Key Research and Development Project of Jiangxi Province (No.20171BBE50057), The Science and Technology Project of Jiangxi Provincial Transport Bureau (No.2016D0037), The Provincial Teaching Reform Research Project of Jiangxi Province (No.JXJG-16-5-7), The Science Education Plan for 13th Five-Year of Jiangxi Province (No.17YB056), The Postgraduate Innovation Project in 2018 of Jiangxi Province (No.YC2018-S253)



1 引言

2018年1月,国家发展和改革委员会印发了《智能汽车创新发展战略》(征求意见稿),到2020年,智能汽车新车占比将达到50%,智能车载终端设备将趋于智能化和集成化。车辆智能化发展对车辆间信息传递以及数据处理能力提出了新的要求,数据量的增多与车载终端有限的计算能力成了一对主要矛盾,如何将海量数据在车辆间进行高效传输和有效处理成为车联网络中的又一重大挑战。因此,有必要探索一种新型高效的车辆任务卸载方案来解决此类矛盾、降低通信过程中的时延以及为用户提供更优质的服务。

参考文献[1]提出了基于SDN控制的MEC(mobile edge computing,移动边缘计算)架构,利用软件定义控制器简化任务卸载的复杂部署。参考文献[2]考虑车载任务数据与任务所属的相似性,利用车辆间协调通信方式传输,提高车辆通信数据速率。参考文献[3]提出利用MEC资源卸载,实现业务本地化部署,以适应智能交通系统的需求。参考文献[4]提出一种可预测的任务卸载模型,利用回传链路数据传输的可靠性,解决车辆快速移动导致的频繁越区切换的问题。然而在现有的车载边缘网络的研究中,主要考虑行进车辆之间或车辆与路侧单元之间的数据交互,很少考虑路边停泊车辆自身的大量空闲资源,导致停泊车辆大量资源浪费。基于上述问题,本文提出一种基于路边停泊车辆中继的车载边缘任务卸载方案,以充分利用路边停泊车辆空闲资源,减轻基站间网络传输压力,同时降低车辆通信过程中的时延。

2 车载边缘计算技术

2.1 移动边缘计算技术

相比云计算来说,移动边缘计算是一种具有高带宽、低时延特点的新技术,通过靠近移动用

户来减少网络操作和服务交付的时延^[1]。MEC通过在靠近终端的网络边缘增加计算服务单元,使得移动终端业务本地化成为可能,能够更好地支持高带宽和低时延业务。MEC自上而下可分为三层,分别是:核心云、边缘云和移动终端设备,体系架构如图1所示,移动边缘计算系统位于无线接入点及有线网络之间,可直接与移动核心网进行连接,同时也可与企业网连接,还能连接其他网络(车联网V2X应用)。同时,边缘服务器可处理来自终端设备上传的任务,而后将计算结果返回给终端设备,既减轻了终端的信息处理压力,同时极大地降低了终端到云端的交付时间^[4-5]。

2.2 5G车联网的关键技术

5G车联网,是指利用5G无线通信技术来提高车辆行车安全性和改善车辆间通信的质量,最终要实现V2X,包括:车与车(vehicle to vehicle)、车与人(vehicle to pedestrian)和车与基础设施(vehicle to infrastructure)之间的通信^[6]。

V2V通信为了防止事故发生,依靠V2V技术,驾驶员收到警告后立刻采取相应措施或车辆本身采取制动减速措施;V2P通信的实质可理解为车辆与智能终端的通信,包括手机、可穿戴设备等。未来V2I通信具体将采用车载智能交通运输系统的760 MHz频段,即可以在不影响车载传感器的情况下实现基础实施与车辆之间的相互通信功能^[7-9]。

由此可见,V2X关键技术是未来智能交通运输系统的关键技术,它可以通过通信获得实时路况、道路信息、行人信息等一系列交通信息,提高驾驶安全性,减少拥堵,提高交通效率,提供车载娱乐信息等^[3]。基于V2X技术,不仅可以大幅提升交通安全,降低交通事故率,而且可以为自动驾驶、智能交通和车联网创新提供低成本、易实施的技术路线和基础平台^[10]。

3 车载边缘计算基础架构

车载边缘计算(vehicular edge computing,

VEC)是将移动边缘计算与 5G 车联网场景相结合的典型应用,优势在于可最大程度地降低车联网环境下车辆间通信过程中的时延,从而事先判断障碍物的位置,做好危险预警或在紧急情况下以最快的速度采取相应制动措施^[11]。

车载边缘计算可分为横向(X)两级结构,分别是基站内部车辆通信以及基站间数据通信。在同一个基站覆盖范围内,车辆可将车载计算任务进行上传和下载,不同车辆之间也可进行数据交换,同时,不同基站之间也可通过无线回传链路进行信息传递。纵向(Y)自上而下可分为3层体系,分别是核心云处理层、边缘服务器计算层和数据终端本地计算层^[12]。

4 基于静态中继的任务卸载方案

4.1 静态中继技术

随着汽车保有量的急剧增加,其直接后果是,缓慢行驶的车辆可能会频繁发生堵塞,加剧城市的交通压力。同时,在许多城市地区,路边停放的车辆数量也将相当庞大^[13]。这些停放车辆等同于巨大的未充分利用的资源,因此,提出以路边停靠的车辆作为静态中继进行数据的转发,最大程度地利用这些未被利用的通信资源,避免资源浪费。

在城市区域内,停泊车辆有3种排布方式,分别是:街道两侧停车、室外停车和室内停车(车库或停车场)。与行驶车辆相比,静态车辆的优势主要在于其位置的相对不变性(假设停泊车辆在某段时间内位置无变动)和资源占用率低^[14-15]。同时,由于位置相对固定,停泊车辆更容易与行驶车辆建立无线通信链路,通信过程中的衰落明显低于行进车辆之间通信的衰落,因而非常适用于作为中继进行数据转发。静态车辆中继通信如图2所示。

如图2所示,停泊在路旁的车辆与行进的车辆可形成一个车载网络,网络中的车辆相互间可

进行通信,停泊车辆可以接收某行进车辆的数据分组并依次进行转发,最终上传至路基单元(road site unit, RSU),RSU 将车载计算任务传至边缘服务器进行计算后,将计算结果返回给行进车辆。

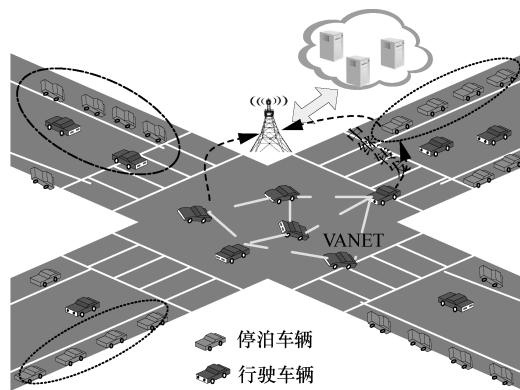


图2 静态车辆中继通信

4.2 车载终端任务卸载方案

基于静态中继的车辆卸载方案是利用多个协作的终端用户客户端或近用户边缘设备来执行大量通信和计算任务的。

4.2.1 通信过程

将停泊车辆作为中继,优势在于车辆的位置相对固定,因此它们可以很容易地与道路行进车辆进行信息交互。基于静态中继的车辆任务卸载方案主要是充分考虑车辆的移动性,相比传统车辆直接与基站通信,此方案可极大降低通信过程中的时延^[6]。

车辆边缘任务卸载模型如图3所示。移动车辆数在道路服从参数为 λ 的泊松分布。目标车辆S初始时刻在基站BS₁的覆盖范围内,此时车辆携带的计算任务为T。假设执行任务T所需的时间 t 可通过计算得知,在 t 时间内任务执行完后,车辆到达第 k 个基站覆盖范围内。由于车辆快速移动,在 t 时间内车辆会跨过不同基站的覆盖,若进行频繁的越区切换,不仅会造成大量的资源浪费,而且会极大地增大车载任务的传输时延。

在传统直接V2I通信模型中(如图4(a)所示),主要将目标车辆S的计算任务上传至基站,

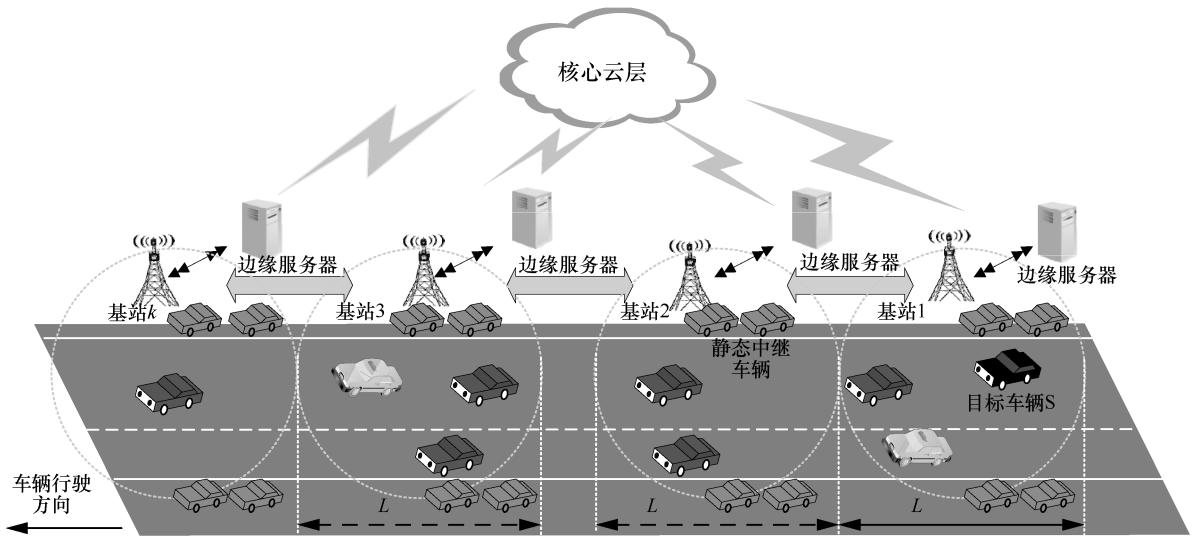


图3 车载边缘任务卸载模型

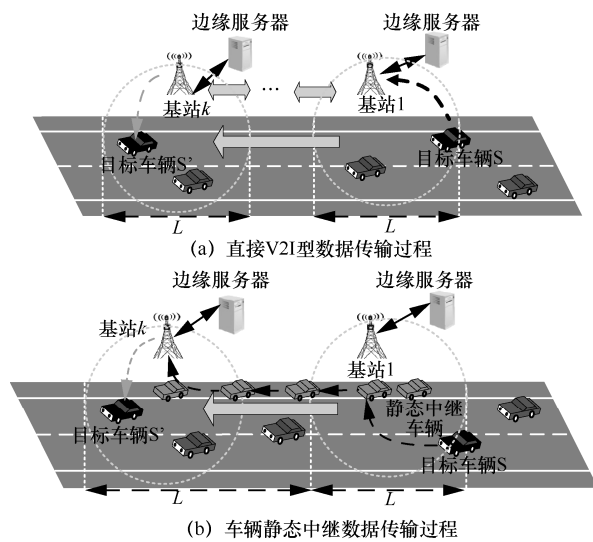


图4 不同通信模式下的车辆数据传输过程

将计算结果通过回传链路依次往下一个基站传输。由于车辆的移动性，这种传输方式不仅会给基站造成巨大压力，而且会导致车载任务计算结果返回速度与车辆行驶速度不匹配。基于车辆中继的车载任务卸载策略充分考虑车辆的移动性，以路边停靠车辆为数据传输的中继。在图4(b)中，对道路两侧停靠的车辆进行分组，每 L 距离为一组，假设基站的覆盖范围和车辆间通信范围均为 L 。在初始时刻，车辆在 RSU_1 的覆盖范围内，

此时目标车辆将任务数据传输给该区域中的车辆 c_1 ，依次进行传输，直至传输到 RSU_k 中的车辆 c_k 。由停泊车辆 c_k 将计算任务上传至 RSU_k ，边缘服务器 m_k 进行执行。经时间 t 后，目标车辆到达 RSU_k 的覆盖范围内，此时边缘服务器 m_k 恰好将计算结果返回给目标车辆。

4.2.2 计算过程

路边停靠的车辆服从聚集分布，在特定情况下，它们可以形成一个网组，通过相互间进行通信获得更多的计算任务资源。停靠的车辆可被视为庞大的计算资源池，可为移动的车辆提供大量的计算服务^[7]。

4.3 通信过程中的时延

基于静态中继的车载任务传输分为4个过程，一是目标车辆将车载计算任务传输给路边的停泊车辆以及不同区域内的停泊车辆，将计算任务依次传输；二是停泊车辆将计算任务上传至其所在的基站（边缘服务器与基站相连）；三是边缘服务器对车载任务进行计算；四是边缘服务器通过基站将计算结果返回给目标车辆^[1]。

过程一是车辆间进行数据传输，此过程目标车辆只借用停泊车辆的通信资源，不占用其计算

资源, 时延记为 t_{v2v} 。整个通信过程中, 目标车辆从 BS_1 的覆盖范围内行驶到 BS_k 的覆盖范围内, 因此数据传跳数为 k_2-1 。 t_{up} 和 t_{dn} 分别表示车载数据上传至基站和计算结果由基站返回给目标车辆所需的时间。 t_{re} 代表在边缘服务器执行车载计算任务的所需时间。

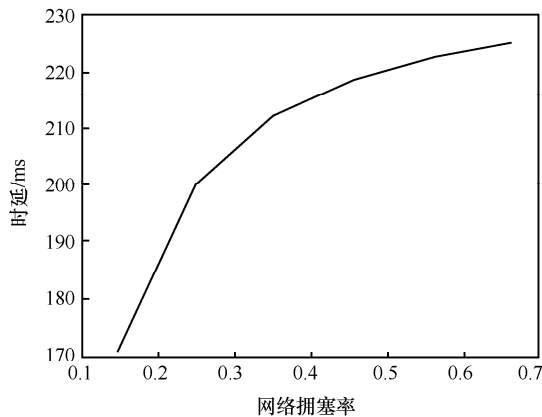
传统方式传输方式是车辆直接与基站进行通信, 即直接 V2I 传输, 在此过程中, 任务计算结果通过回传链路在基站间传输的时间为 t_{ba} , 由车载任务总量 r 、数据传输速度 b_v 和网络拥塞概率 η 决定。因此直接 V2I 传输过程总时延可表示为 $t_1 = t_{up} + t_{dn} + t_{re} + (k_1-1)t_{ba}$, 其中 $t_{up} = d/d_0$, $t_{dn} = r/d_0$, $t_{ba} = r/\eta b_v$, $t_{re} = 1/(u-\bar{\lambda})$, $\bar{\lambda} = \sum_{k=1}^{K_{max}} p_k \rho \lambda$ 。

基于静态中继的车辆通信方式是将车载任务数据通过停泊车辆依次进行传输, 此过程中每一跳的时延可用 t_{v2v} 表示。 N_p 为道路停泊车辆总数, 路段 L 范围内距离基站的停泊车辆数 $N_e = N_p L/k_2 L = N_p/k_2$ 。忽略路段宽度, N_e 辆车中至少存在一辆车愿意提供协作的概率为 $p = 1 - (1 - pva_{ratio})^{N_e}$ [8], 车辆间数据传输时间为

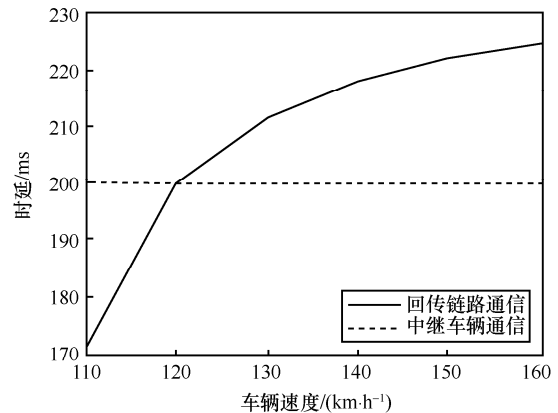
$$t_{v2v} = \frac{d}{d_0 \left(1 - (1 - pva_{ratio})^{\frac{N_p}{k_2}} \right)}$$

中继的数据传输过程总时延可表示为 $t_2 = t_{up} + t_{dn} + t_{re} + (k_2-1)t_{v2v}$ 。

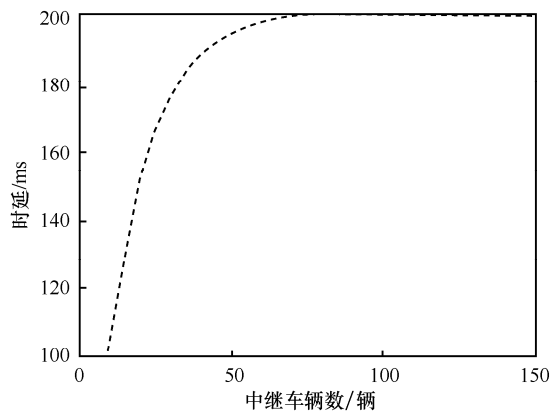
基于上述模型, 仿真结果如图 5 (a) 所示, 随着车辆速度增大, 基站的任务到达率会逐渐增大, 达到基站所能处理的阈值后会导致网络拥塞,



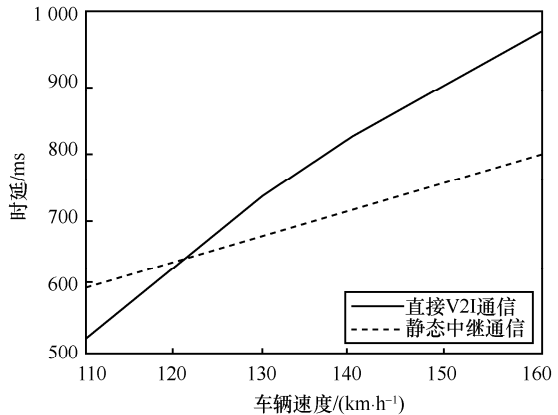
(a) 网络拥塞率对回传链路通信时延的影响



(b) 回传链路通信时延与车辆中继时延对比



(c) 中继车辆数对中继通信时延的影响



(d) 直接V2I通信时延与静态中继通信时延对比

图5 车辆通信过程时延对比



进而造成时延增大。从图 5 (b) 中可以得出, 对于直接 V2I 通信过程, 随着车辆速度的增大, 数据在回传链路中传输所需时间也相应增大。而对于静态车辆中继通信过程中, 车辆速度不再是影响通信时延的关键因素, 静态车辆的数量将对通信时延产生较大影响, 如图 5 (c) 所示。图 5 (d) 表示了两种不同通信方式对整个通信过程时延的影响。当车辆速度小于 120 km/h 时, 直接 V2I 通信方式时延较低; 而当车辆速度大于 120 km/h 时, 较直接 V2I 通信方式, 基于停泊车辆中继的通信方式能将时延降低 20%。

5 结束语

车载边缘计算是移动边缘计算与车联网相结合的具体应用, 其优势在于将边缘计算服务器部署在靠近基站的边缘, 以降低车辆通信过程中的时延。本文所提基于停泊车辆中继的卸载方案充分利用空闲资源, 依靠车辆间协作通信进行数据转发。该方案不仅能充分利用车载资源, 极大地降低通信过程时延, 而且能在一定程度上缓解回传链路的数据传输压力。同时, 同一基站覆盖范围内的停泊车辆还能形成一个车载自组织网络, 更高效地处理来自行进车辆的信息, 还能在一定程度上降低车辆卸载成本, 减少整个通信过程中的时延。在 5G 时代, 若能在道路合理部署边缘服务器, 海量车载任务数据将得到更有效、更及时的处理, 这将有利于未来车辆大数据以及智慧交通的发展。

参考文献:

- [1] HUANG C, CHANG M, DAO D, et al. V2V data offloading for cellular network based on the software defined network (SDN) inside mobile edge computing (MEC) architecture[J]. IEEE Access, 2018(6): 17741-17755.
- [2] ZHANG K, MAO Y M, LENG S P, 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.
- [3] ZHANG K, MAO Y M, LENG S P, et al. Delay constrained offloading for mobile edge computing in cloud-enabled vehicular networks[C]//2016 8th International Workshop on Resilient Networks Design and Modeling (RNDM), Sept 13-15, 2016, Halmstad, Sweden. Piscataway: IEEE Press, 2016: 288-294.
- [4] ZHAO J H, CHEN Y, GONG Y. Study of connectivity probability of vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication systems[C]//IEEE 83rd Vehicular Technology Conference, May 15-18, 2016, Nanjing, China. Piscataway: IEEE Press, 2016: 1-4.
- [5] REN J K, YU G D, CAI Y L, et al. Partial offloading for latency minimization in mobile-edge computing[C]//2017 IEEE Global Communications Conference, Dec 4-8, 2017, Singapore. Piscataway: IEEE Press, 2017: 1-6.
- [6] QI Y L, TIAN L, ZHOU Y Q, et al. Mobile edge computing-assisted admission control in vehicular networks[J]. IEEE Vehicular Magazine, 2019, 14(1): 37-44.
- [7] HOU X H, LI Y, CHEN M, et al. Vehicular fog computing: a viewpoint of vehicles as the infrastructures[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(6): 3860-3873.
- [8] WANG S M, ZHANG Z H, YU R, et al. Low-latency caching with auction game in vehicular edge computing[C]//2017 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Oct 13-16, 2017, Qingdao, China. Piscataway: IEEE Press, 2017: 1-6.
- [9] CHOO S K, KIM J W, PACK S H. Optimal task offloading and resource allocation in software-defined vehicular edge computing[C]//2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), February 27-28, 2018, Barcelona, Spain. [S.l.:s.n.], 2018: 251-256.
- [10] MA X T, ZHAO J H, GONG Y, et al. Key technologies of mec towards 5G-enabled vehicular networks[C]// International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Dec 16-17, 2017, Dalian, China. Springer, Cham, 2017: 153-159.
- [11] 戈军, 周莲英. 面向停泊车辆的车载自组织网络(VANET)高效数据分发方案[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(1): 279-285.
- [12] GE J, ZHOU L Y. An efficient data dissemination scheme for the roadside parked vehicles in VANETs[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(1): 279-285.
- [12] ZHOU Y Q, TIAN L, LIU L, et al. Fog computing enabled future mobile communication networks: a convergence of communication and computing[J]. IEEE Communication Magazine, 2019, accepted.

- [13] 李佐昭, 刘金旭. 移动边缘计算在车联网中的应用[J]. 现代电信科技, 2017, 47(3): 37-41.

LI Z Z, LIU J X. Application of mobile edge computing in vehicle networking[J]. Modern Science & Technology of Telecommunications, 2017, 47(3): 37-41.

- [14] 周一青, 李国杰. 未来移动通信系统中的通信与计算融合[J]. 电信科学, 2018, 34(3): 1-7.

ZHOU Y Q, LI G J. Convergence of communication and computing in future mobile communication systems[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(3): 1-7.

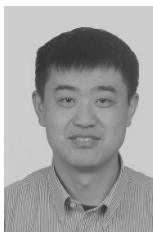
- [15] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 移动边缘计算技术及其本地分流方案[J]. 电信科学, 2016, 32(3): 136-139.

ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing technology and its local offloading scheme[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(3): 136-139.

[作者简介]



董培养 (1995-), 女, 华东交通大学信息工程学院硕士生, 主要研究方向为 5G 车联网通信、移动通信等。



赵军辉 (1973-), 男, 华东交通大学信息工程学院院长、教授、博士生导师, 江西省车联网关键技术工程实验室主任, 主要研究方向为移动通信、智能信息处理、物联网等。已在相关领域发表论文 100 余篇, 曾获得省部级科学技术进步奖 2 项。



邹丹 (1979-), 女, 华东交通大学信息工程学院讲师、博士生, 主要研究方向为移动通信、车联网通信等。



孙笑科 (1993-), 女, 北京交通大学电子信息工程学院博士生, 主要研究方向为车辆边缘计算。