基于5G+C-V2X的车联网

Solution and Verification of Internet of Vehicle Based on 5G+C-V2X

解决方案及验证

林晓伯1,冯 毅1,邱佳慧1,蔡 超1,张 澜2,丰爱松3,郑 圣4,金 天4,夏小涵1(1.中国联通智网创新中心,北京 100048;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048;3. 中质智通检测技术有限公司,江苏 南京 213017;4. 中国联通江苏分公 司,江苏南京210008)

Lin Xiaobo¹, Feng Yi¹, Qiu Jiahui¹, Cai Chao¹, Zhang Lan², Feng Aisong³, Zheng Sheng⁴, Jin Tian⁴, Xia Xiaohan¹(1. Intelligent Network & Innovation Center of China Unicom, Beijing 100048, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China; 3. Zhongzhi Zhitong Testing Technical Co., Ltd., Nanjing 213017, China; 4. China Unicom Jiangsu Branch, Nanjing 210008, China)

摘要:

我国车联网产业在国家政策的推动下蓬勃发展,但受部署成本、商业模式以及 跨行业协同等限制,其在规模化部署、商用路径上仍存在一定的难点。针对上 述问题,结合运营商5G+MEC网络优势,提出了通过5G网络承载车联网的技 术方案并实地部署验证,并对5G网络能力、C-V2X网络覆盖及在5G承载下的 车联网业务进行联合测试,测试结果表明目前5G+C-V2X方案在件能上完全 可以承载车联网业务。

关键词:

C-V2X;5G;MEC;网络覆盖;业务验证 doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.10.003 文章编号:1007-3043(2021)10-0013-07

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:

China's Internet of vehicles industry is booming under the promotion of national policies. However, due to the limitations of deployment cost, service mode and cross industry collaboration, there are still some difficulties in large-scale deployment and business path. In view of those problems, combined with the advantages of 5G + MEC network, it puts forward the technical scheme of deploying Internet of vehicles applications on 5G network and implements in the field, and also carries out several tests of 5G network capabilities, LTE-V2X network coverages and LTE-V2X services above 5G. It is to be proved that the 5G network is capable to support LTE-V2X in Internet of vehicles' services.

Keywords:

C-V2X;5G; MEC; Network coverage; Services verification

引用格式:林晓伯,冯毅,邱佳慧,等,基于5G+C-V2X的车联网解决方案及验证[J],邮电设计技术,2021(10):13-19.

1 概述

智慧交通出行是我国经济的重要组成部分。随 着社会的发展,人们对交通出行的体验要求越来越 高,安全、便捷、高效的交通系统成为国家发展的重要 目标之一。其中以网络连接、实时通信为基础的车路

基金项目: 国家重点研发计划(No.2018YFB1600600)

收稿日期:2021-08-30

协同是智慧交通必然选择的技术途径[1]。

在"新基建""新一代智慧交通"的大背景下,我国 基于5G的车路协同智慧交通发展迅速。2020年2月, 11部委联合发布《智能汽车创新发展战略》正式稿; 2020年4月,工业和信息化部、公安部、国家标准化管 理委员会三部门联合印发了《国家车联网产业标准体 系建设指南(车辆智能管理)》的通知;2021年国务院 发布了《国家综合立体交通网规划纲要》,加强交通基 础设施统筹布局、推动车联网部署和应用;2021年"十 四五"规划中明确指出"积极稳妥发展工业互联网和车联网"。多部委多次联合发布相关政策法规,传达出国家推动相关产业融合创新发展的决心,表现出各部委间合力促进车联网发展的坚定决心^[2]。

在国家政策的大力引导下,车联网产业化发展逐步走上正轨,车联网标准体系基本建成。通信企业、主机厂、互联网企业共推智慧交通产品,并已开发了包括安全相关、效率相关及信息服务相关的多种应用,产业链中的芯片、终端、平台、应用等细分产业均快速发展[3]。同时,全国各地均在开展车联网的业务示范和应用。

但是目前车联网发展仍然面临一些问题,首先车联网产业跨多行业、跨多部委,产业链条长,决策链复杂^[4],因此存在产业协同难的问题。在管理上,目前车联网建设呈点状分布,运营主体不统一,容易形成烟囱式建设和信息孤岛,后续难以实现跨域协同以及数据的集约化管理,影响规模化的发展。在成本上,车联网的路侧单元(RSU)如果在市区内连续覆盖,数量庞大,成本较高^[5]。

本文针对车联网产业中的痛点和难点问题,提出利用5G SA 网络结合移动边缘计算(MEC)承载车联网 C-V2X业务,将5G的广覆盖、低延时、高算力特性赋能车联网行业,借助5G 云网资源,使车联网在短期内具备规模化、标准化、一体化的应用落地推广能力,同时有效降低成本,真正形成业务的"一点复制、全国推广"的建设模式。本文基于上述车联网业务承载方案进行实地部署和网络性能测试、C-V2X 网络覆盖测试以及业务支撑测试,全面验证了该方案的可行性以及可靠性,对于车联网部署和推广具有积极意义,并且为通信运营商切入车联网行业提供了经验。

2 技术背景

2.1 LTE-V2X通信架构

LTE-V2X是由我国主导的通信技术,于2015年在3GPP开始标准化工作^[6],支持PC5和Uu2种通信模式。网络通信架构如图1所示,其中,OBU与RSU之间通过PC5接口通信,称为V2I(Vehicle to Infrastructure)通信;OBU之间通过PC5接口通信,称为V2V(Vehicle to Vehicle)通信;OBU与LTE基站间通过Uu口通信,称为V2N(Vehicle to Network)通信^[7]。架构中的关键网元包括:

a) 路侧单元(RSU):即 V2X 路侧终端,支持 PC5

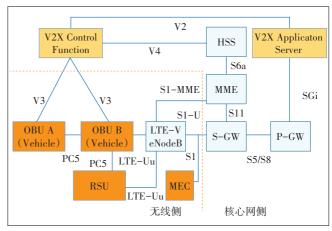


图1 LTE-V2X通信架构

和 Uu 2 种通信模式,其中 PC5 用于广播 V2I 并接收 V2V 消息。同时作为其他路侧设备(例如摄像头、雷达等)的数据网关,RSU将其他路侧设备的数据通过 Uu或者有线方式发送至云端 V2X 应用服务器。

- b) 车载单元(OBU):即 V2X 车载终端,支持 PC5 和 Uu 2 种通信模式,其中 PC5 用于广播 V2V 并接收 V2I消息,Uu可将车端数据发送至云端 V2X 服务器。
- c) LTE-V 基站(LTE-V eNodeB): 支持 Mode3 模式下 PC5空口资源配置, Uu 口用于 V2N消息的发送及接收。
- d)移动边缘计算节点(MEC):为PC5及Uu提供边缘算力,主要用于本地化时延敏感V2X业务处理。
- e) V2X 应用服务器(V2X Application Server),主要用于处理应用层的消息,包括数据融合计算,输出决策信息并播发给路侧设备。
- f) V2X 控制单元(V2X Control Function),主要用于业务逻辑控制单元,提供PC5口鉴权,设备运维管理等。

2.2 LTE-V2X应用类型

在LTE-V2X 车联网中,应用类型主要分为安全、效率、信息服务 3类^[8]。目前在标准中分 2个阶段定义具体的车联网应用场景,其中第 1 阶段是初级阶段,主要面向车联网设备间的信息互通,如表 1 所示。例如安全类中的紧急制动预警,该场景的通信方式为V2V,即前车在进行紧急制动的同时,联动车内的 OBU向周围的车辆播发其紧急制动预警消息,该消息传播距离可以达到数百米,使得视距外的 OBU 终端也能收到消息,从而提醒远端车驾驶员注意实时路况。再如,闯红灯预警应用场景中,RSU可以与红绿灯通信,从而获取红绿灯的状态信息,并将该状态信息播发给

衣 1 年联网第1例权基础应用切束及进行方式				
场景分类	基础应用场景	通信方式		
· · · · · ·	前向碰撞预警	V2V		
	交叉路口碰撞预警	V2V/V2I		
	左转辅助	V2V/V2I		
	盲区预警/变道辅助	V2V		
	逆向超车预警	V2V		
	紧急制动预警	V2V		
	异常车辆提醒	V2V		
	车辆失控预警	V2V		
	道路危险提示	V2I		
	限速预警	V2I		
	闯红灯预警	V2I		
	弱势交通参与者碰撞预警	V2I		
- 效率	绿波车速引导	V2I		
	车内标牌	V2I		
	前方拥堵提示	V2I/V2N		
	紧急车辆提醒	V2V		
	安全	前向碰撞预警 交叉路口碰撞预警 左转辅助 盲区预警/变道辅助 逆向超车预警 紧急制动预警 紧急制动预警 异常车辆提醒 车辆失控预警 道路危险提示 限速预警 闯红灯预警 弱势交通参与者碰撞预警 绿波车速引导 车内标牌 前方拥堵提示		

表1 车联网第1阶段基础应用场景及通信方式

周围的OBU终端,如果驾驶员疏于观察,可提醒驾驶 员前方路口是禁行状态。

汽车近场支付

V2N

随着路边设备类型的不断丰富,将部署激光雷 达、毫米波雷达、摄像头等,可以实现更复杂的车联网 应用,因此标准组织基于第1阶段应用场景扩展出第2 阶段应用场景。在第2阶段应用场景中,借助路边的 多元感知设备,可用于多车协同的交通通行场景,应 用场景包括协作式变道、协作式匝道汇入、车辆编队 行驶、特殊车优先行驶、车辆路径引导等[9]。

2.3 LTE-V2X与LTE技术对比

17

信息服务

LTE-V2X 直连通信技术沿用LTE 的基础思想,但 是在协议栈、资源选择和调度方式、重传机制以及实 际部署方式上均有较大差别[10]。例如LTE-V2X与 LTE的资源调度方式不同。目前LTE-V2X行业内主 流使用的是 Mode4, 即自主资源选择模式。该模式采 用的是基于感知的半持续资源选择(Semi-Persistent Scheduling, SPS)的方式,该模式下LTE-V2X终端不需 要通过蜂窝网基站调度,而是自身根据接收到的信息 对已占用的资源进行避让,使用未占用的资源块进行 数据发送并预约周期性的发送资源[11]。此外LTE-V2X与LTE的HARQ重传机制不同。LTE的重传流程 是在终端接收到数据帧后,对数据帧进行FEC校验并 反馈 ACK或 NACK, 发送端会根据终端的反馈进行重 传[12]。而LTE-V2X仅支持配置最多1次HARQ盲重 传,即LTE-V2X接收端不会对接收到的消息进行反 馈,而LTE-V2X发送端默认对每个数据包进行最多2 次发送[13]。LTE-V2X与LTE的部分技术及部署差异 如表 2 所示。

表2 LTE-V2X与LTE部分技术及部署差异

参数	LTE-V2X	LTE移动蜂窝网
资源选择	基于感知的半持续资源选 择(SPS)	基站调度
基站天线	全向天线	定向天线
重传方式	默认1次盲重传	基于校验和反馈机制
基站 EIRP/ dBm	29	46/49
工作频段	5 905~5 925 MHz ^[14]	sub-5 GHz
通信模式	广播	单播
部署高度/m	3~10	30~50

2.4 MEC在LTE-V2X中的应用

车联网是移动边缘计算(MEC)的重要应用场景。 车联网中包含多种业务类型,不同业务对网络要求差 异较大。例如,高精度地图与娱乐类业务需要较大带 宽,而安全类业务则需要低时延网络。MEC可以灵活 部署在车联网架构的各个层级,在靠近用户的位置部 署MEC平台实现部分网络服务、计算、存储、决策能力 下沉,从而满足车联网的超短时延要求并同时减轻核 心网流量压力[15]。

在5GSA核心网架构中,通过控制面和用户面分 离,将UPF下沉到边缘,实现在5G核心网架构中的边 缘计算,并且能够利用切片技术实现不同业务的个性 化服务管道,从而支撑不同的车联网应用,如图2所 示。

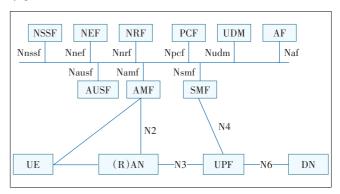


图2 5G核心网服务化网络架构

此外,MEC支持多层级灵活部署,下至每一个路 口,上至覆盖一个城市的大型MEC,均可以灵活部署 车联网应用。中国联通目前已经在全国各个城市广 泛部署可用于服务车联网的布局型 MEC, 为车联网开 展商业化快速部署提供高效算力。

本文以江苏常州"新一代国家交通控制网智能网联开放道路测试"车联网网络建设方案为例,介绍5G+MEC+C-V2X的车联网网络部署方案,并对网络部部署性能及业务演示性能进行了测试验证。

3 车联网5G+MEC承载方案

3.1 车联网网络承载部署

该网络方案跨两地部署,其中5G核心网部署于南京,而5G基站和承载V2X业务的MEC位于常州,核心网和基站通过IP承载网连接,如图 3 所示。在该架构下,控制信令和用户数据分离,业务数据通过UPF分流至本地的V2X应用服务器,从而保证低时延,且业务流量不经过核心网,减轻了核心网业务处理压力。

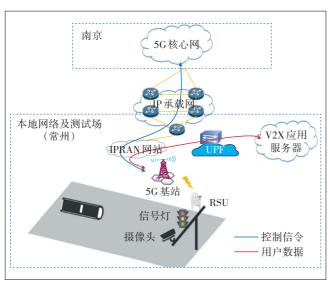


图3 5G SA+MEC 网络部署架构

在测试场侧,共部署8个5G基站及15个RSU设备,RSU北向通过5G访问V2X应用边缘服务器,南向通过以太网连接其他路侧设备。其中RSU实际部署点位如图4所示,1~15代表本次部署的15个RSU的部署位置。其中应用序号①②③④⑤⑥本次6个关键场景,其中RSU3、5、7、9、12、14配合完成场景演示,其余RSU均提供云端信息下发和基础地图数据下发的功能。

应用序号与具体应用的对应关系如表 3 所示。

该网络方案包含5G承载网络部署、LTE-V2X覆盖网络部署及业务应用部署的端到端C-V2X车联网整体实验环境,模拟未来实际商用环境,测试结果具有应用实践价值。该网络方案相比于4G承载方式更具优势,4G采用传统集中式部署的云控中心,业务部

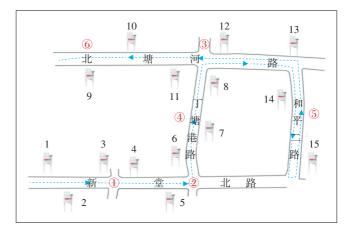


图4 RSU部署位置及车联网应用触发位置

表3 应用序号与具体应用对应关系

序号	应用场景	
1	车速建议	
	闯红灯预警	
2	绿波通行	
3	十字路口碰撞预警	
	后方快速车辆预警	
4	紧急车辆提醒	
5	道路施工预警	
6	急弯提醒	
	路面湿滑预警	

署位置距离用户较远,无法对时延、带宽、可靠性等提供保障,此外在可扩展性及经济性方面也无法适应业务规模化推广的需求。

3.2 路侧设备部署

在路侧设备部署过程中,抱杆上一般会同时部署多个设备,包括RSU、摄像头、毫米波雷达、激光雷达等[16]。在实际部署中,上述设备均直接与抱杆箱中的交换机连接,如图 5 所示,并进行设备物理接口的地址配置,使其组成本地局域网络。而RSU作为其他设备的网关设备,南向收集同一抱杆上的其他设备的数据,北向通过5G访问MEC服务器。

4 测试验证

4.1 网络能力测试

网络测试主要是测试5G/V2X 双模 RSU 与边缘云服务器之间的通信时延,采用 ping测试方式。实测结果如表 4 所示,最大往返时延 14.8 ms,最小往返时延 11.2 ms,平均往返时延 11.78 ms;最大单向时延 7.4 ms,最小单向时延 5.6 ms,平均单向时延 5.89 ms。

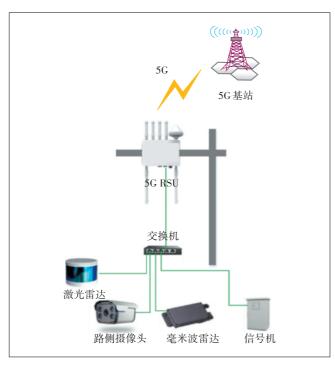


图5 设备实际部署方式

表4 RSU设备至边缘云服务器之间通信时延

点位	往返时延 /ms	单向时延 /ms
RSU1	12.3	6.15
RSU2	11.4	5.7
RSU3	11.3	5.65
RSU4	11.4	5.7
RSU5	11.3	5.65
RSU6	14.8	7.4
RSU7	11.2	5.6
RSU8	12.2	6.1
RSU9	11.4	5.7
RSU10	12.1	6.05
RSU11	11.4	5.7
RSU12	11.4	5.7
RSU13	11.2	5.6
RSU14	11.8	5.9
RSU15	11.5	5.75

车联网业务对于时延敏感度较高,根据3GPPTR 22.885 定义的车联网应用场景, 在辅助驾驶类业务中, 如主动安全(例如碰撞预警、紧急刹车等)、交通效率 (例如车速引导)、信息服务等,对于时延的要求均在 20~100 ms, 因此 5G+MEC 的承载网络目前可以满足车 联网业务对时延的要求。

4.2 LTE-V2X 覆盖测试

车联网通信场景较多,包括高速、城区、隧道、高 架桥、环岛、停车场等,不同场景由于遮挡、RSU部署 位置等环境因素导致通信性能差异较大。RSU在实 际部署后,应进行实地测试,从而验证车联网网络的 有效覆盖范围,将其作为工程验收的标准和依据。本 文以路测的形式,对整个测试场覆盖进行测试,此外 针对某一特定 RSU, 验证其在高速场景下的覆盖能 力,能够为以后类似场景的RSU设备大规模部署提供 工程经验。

本次测试场路测结果如图 6 所示,大部分区域都 有 LTE-V2X 信号覆盖, RSRP 值主要集中在-120~ -105 dBm。个别地区由于环境遮挡、RSU部署位置等 因素导致出现覆盖盲区。而部分地区虽然相对距离 较远,但是由于传播条件较好,信号强度较高。



图6 测试场整体LTE-V2X网络RSRP热力图

由于该测试场整体环境开阔,可以作为典型的高 速车联网通信场景,因此本文在测试中针对高速场景 进行了打点测试。图 7中标识了测试场中用于高速直 道打点测试的RSU以及相应的路段,其中红色箭头指 示的是车辆前进方向。

该路段周围无建筑物,环境开阔,符合高速场景 的测试条件。RSU部署在道路龙门架上

测试使用的测试设备是支持直连通信的终端设 备,并支持输出一系列网络指标如RSRP、RSSI、SNR 及收包率。被测RSU部署高度约10 m,发送功率为 23 dBm, 天线增益为6 dBi。配置被测 RSU 发送 V2X 消息,每个包大小约为150 B,包与包之间的发送频率 约为100 ms。测试方法为打点测试,沿高速道路向北 逐渐拉远,在每个测试点配置被测RSU发送5000个 数据包,并通过测试设备统计收包率,测试结果如图 8 所示。

在前 0~800 m 的过程中,平均收包率为 95.65%,

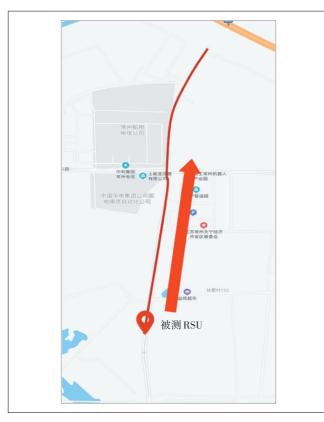


图7 高速场景地图视角

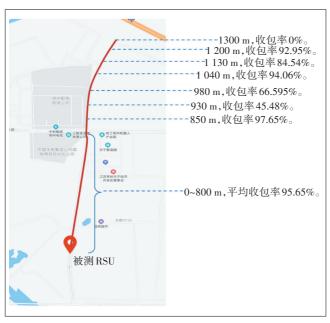


图8 高速直道带打点测试结果

且比较稳定,可以视为良好覆盖路段。通过路口以后,收包率波动较大,在1200m位置,仍能够达到最高92.95%的收包率。而到达1300m后,收包率就降为0。后半段收包率的折线图如图9所示。

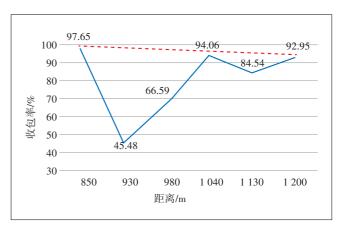


图 9 高速直道后半段打点测试结果

从图9可以看出整体波动比较大,可能与周围大型车辆经过导致传播环境发生剧烈变化有关。图9中红色虚线展示的是丢包率与距离的变化趋势。

根据高速场景的测试结果,主要结论有以下3点。

- a) RSU在高速路段覆盖距离可以达到1 km。
- b) 在覆盖极限距离附近会出现抖动,可能与周围 环境变化有关。
- c) 在覆盖极限区域会出现明显的丢包拐点,即丢包率与距离的变化并不是线性的。

根据以上实测情况,给出高速场景 RSU 的部署建议如下。

- a) 考虑覆盖质量及经济实用性,两 RSU 之间距离 应在 1.5 km 左右。
- b) RSU 的部署高度应在 10 m以上,从而减少大车对于 RSU 信号的遮挡。

4.3 V2X应用测试

本文验证了承载于5G网络的LTE-V2X应用运行情况。基于现场5G网络环境、MEC应用部署以及车联网终端设备,在常州测试场落地并验证了包括车速建议、闯红灯预警、后方快速车辆预警、超速提醒、十字路口碰撞预警、紧急车辆提醒、弯道提醒、路面湿滑预警、道路施工预警等车联网应用。

以车速建议为例,在设备部署上,将信号灯或信号灯的相位机与RSU相连,使得RSU获得信号灯的相位信息。相位信息即包含当前信号灯状态及所剩的时间。RSU将信号灯相位信息转换成SPAT(Signal Phase Timing Message)消息播发给周围的车辆OBU终端。车辆终端会根据自身行驶方向、行驶速度以及红绿灯相位信息计算出可通过绿灯的最低速度或者应立即制动从而在红灯前停住车辆。

另以道路施工预警为例,在设备部署上,摄像头 与RSU相连,并将视频信息实时发送给RSU,如图 10 中①所示。RSU通过Uu口将视频信息实时经由5G网 络发送至V2X应用服务器,如图 10中②所示。V2X应 用服务器实时对监控视频进行图像分析,如果发现道 路上出现类似施工特征,如三角锥、施工警示牌等,将 告知RSU,如图 10中③所示。RSU通过组织BSM消息 将施工情况播发到周围车辆,如图 10中④所示,消息 覆盖范围可以达到500~1000 m。因此在该场景下,视 距外的车辆可以提前收到前方施工消息,从而避免事 故发生。

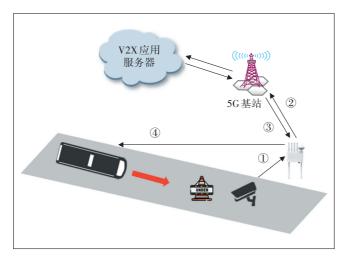


图 10 道路施工预警提醒应用场景

上述案例是LTE-V2X、5G、MEC共同协同的结 果,在5G+MEC网络的支撑下,上述案例均能够正常 实现相应功能,在时效性上与固定网络无明显感知差 异。随着5G网络向R16演进,uRLLC超低时延将可以 更贴近于车联网业务需求,为车联网提供多元化、定 制化的网络管道。

5 总结及建议

车联网产业正在蓬勃发展,政府、企业、院校都积 极参与到我国车联网发展浪潮当中。中国联通较早 开始进行车联网相关研究及产品化工作,并持续关注 车联网产业,从产品、规划、建设、优化等方面切入车 联网行业。本文提出了5G+MEC承载车联网的网络 方案并实地部署,进行了网络测试、LTE-V2X覆盖测 试以及应用测试,测试结果符合预期,是运营商在车 联网行业一次全面的探索与实践,为日后规划部署提 供了宝贵经验。

参考文献:

- [1] 陈山枝.蜂窝车联网(C-V2X)技术与产业发展态势前沿报告 [R]. 中国通信学会,2020.
- [2] 金博,胡延明. C-V2X 车联网产业发展综述与展望[J]. 电信科 学,2020,36(3):93-99.
- [3] Wai CHEN, 李源, 刘玮. 车联网产业进展及关键技术分析[J]. 中 兴通讯技术,2020,26(1):5-11.
- [4] 葛雨明. 我国LTE-V2X标准化及测试验证进展[J]. 移动通信, 2019,43(11):36-39.
- [5] 汤立波. 车联网产业发展分析[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(1):
- [6] 工业和信息化部. 基于LTE的车联网无线通信技术 总体技术要 求:YD/T 3400-2018[S]. 北京:工业和信息化部,2018.
- [7] 陈山枝,时岩,胡金玲,蜂窝车联网(C-V2X)综述[J]. 中国科学 基金,2020(2).
- [8] 中国汽车工程学会. 合作式智能运输系统 车用通信系统应用层 及应用数据交互标准:TCSAE 53-2017[S]. 北京:中国汽车工程 学会,2018.
- [9] 陈山枝,胡金玲,时岩,等.LTE-V2X车联网技术,标准与应用 [J]. 电信科学,2018,34(4):7-17.
- [10] 胡金玲,赵锐,房家奕,等.车联网C-V2X技术演进及产业实践 [J]. 信息通信技术与政策,2020(8):22-31.
- [11] 王玥琦. V2X 网络中资源选择研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2018
- [12] 赵越. LTE 系统物理链路部分模块的研究与实现[D]. 北京:北京 化工大学,2012.
- [13] 汤毅. LTE 系统中 HARQ 技术及其相关技术研究[D]. 成都: 西南 交通大学,2010.
- [14] 工信部. 车联网(智能网联汽车)直连通信使用 5 905~5 925 MHz 频段管理规定(暂行)[EB/OL]. [2021-06-09]. http://www.gov.cn/ xinwen/2018-11/13/content 5339936.htm
- [15] 陈军,李昊,张涛.LTE-V2X车联网边缘计算部署方式探讨[J]. 信息通信,2019(11):76-77.
- [16] 陈军,曾鸣,宁志远.LTE-V2X车联网RSU部署[J]. 电子元器件 与信息技术,2019,3(12):14-15.

作者简介:

林晓伯,工程师,硕士,主要研究方向为车联网仿真、5G通信、IP网络等;冯毅,中国联通 智网创新中心总监,教授级高级工程师,享国家级特殊津贴,长期从事通信行业网络技 术研究、建设规划、产品创新研发工作;邱佳慧,高级工程师,博士,主要研究方向为车联 网、5G通信、高精度定位等;蔡超、高级工程师,硕士,主要研究方向为移动通信、核心网 架构、数据网、安全网关等;张澜,毕业于武汉理工大学,高级工程师,硕士,主要从事智 慧交通类创新项目支撑及项目交付工作;丰爱松,国家智能商用车质量监督检验中心副 总经理,主要从事自动驾驶及车路协同相关标准、测试评级体系研究及相关产品研发工 作;郑圣,毕业于南京航空航天大学,高级工程师,硕士,主要从事核心网、物联网、5G专 网大区运营工作;金天,毕业于南京财经大学,工程师,主要从事运营商4G/5G无线网工 程建设及无线通信技术研究工作;夏小涵,工程师,硕士,主要研究方向为高精定位、 RSU、车路协同等。