



专题：车联网与安全

高速公路 5G 智能网联技术、方案和应用

吴冬升, 王传奇, 金伟, 李凤娜

(高新兴科技集团股份有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: 5G 智能网联广泛应用于自动驾驶、智慧交通和智慧城市领域, 高速公路是交通的典型场景之一, 探索了 5G 智能网联在高速公路场景下的技术、方案和应用。通过构建“感知、通信、计算”3 方面技术能力, 提出了高速公路 5G 智能网联方案。最后介绍了典型的 5G 智能网联应用: 高速公路物流应用和高速公路治堵。

关键词: 5G-V2X; 车路协同; 编队行驶

中图分类号: TN913.7

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020132

Expressway 5G-V2X: technology, solution and application

WU Dongsheng, WANG Chuanqi, JIN Wei, LI Fengna

Gosuncn Technology Group Co., Ltd., Guangzhou 510663, China

Abstract: 5G-V2X is widely used in the fields of automatic driving, intelligent transportation and smart city. Expressway is one of the typical traffic scenes. The technology, solution and application of 5G-V2X in the expressway scene was explored. Through the construction of “perception, communication and computing” three technical capabilities, the scheme of expressway 5G-V2X was proposed. At last, the typical applications such as the application of expressway logistics and the application of expressway congestion control were introduced.

Key words: 5G-V2X, cooperative vehicle infrastructure, vehicle platooning

1 引言

智能网联(车联网)是汽车产业、电子产业、信息产业、交通产业、互联网产业等多产业融合汇聚点。随着与智能网联相关标准的成熟, 智能网联产业化进程也在加速, 尤其是应用在城市场景和城际场景。其中高速公路相对于城区复杂道路状况, 交通环境相对比较封闭和简单, 是优先应用智能网联技术和方案的典型场景之一。

近年来国家陆续出台相关政策, 推动智能网联产业发展, 其中包括着力打造智慧高速公路。智慧高速公路将通过 5G 智能网联、北斗、物联网、云计算、大数据等技术, 逐步建立完善的基础设施监测体系、智能化的路网运行感知体系、可靠的通信资源保障体系、实时的预报预警体系、高效的应急保障体系和便捷完备的出行服务体系。

2018 年 2 月, 交通运输部办公厅发布《关于加快推进新一代国家交通控制网和智慧公路试点

的通知》，覆盖北京、河北、吉林、江苏、浙江、福建、江西、河南、广东。其中路运一体化车路协同方向，选取有代表性的高速公路以及北京冬奥会、雄安新区项目，开展车路信息交互、风险监测及预警、交通流监测分析等。2019年9月，中共中央、国务院印发的《交通强国建设纲要》中提到加强智能网联汽车（智能汽车、自动驾驶、车路协同）研发，形成自主可控完整的产业链。2020年2月，中华人民共和国国家发展和改革委员会等11个部委联合印发《智能汽车创新发展战略》，提出到2025年，车用无线通信网络（LTE-V2X等）实现区域覆盖，新一代车用无线通信网络（5G-V2X）在部分城市高速公路逐步开展应用，高精度时空基准服务网络实现全覆盖。

高速公路存在运行状态感知控制手段单一、数据融合效果不佳的挑战，随着2019年中国进入5G商用元年，在LTE-V2X技术基础上，如何开展5G蜂窝网络（Uu接口）业务探索以及验证5G-V2X技术，成为高速公路智能网联的一个重要研究方向。同时，高速公路对安全、效率有非常高的要求，这也对车路协同提出了更高要求，如何利用智能网联的智能化、网联化手段来提升高速公路出行安全性和优化交通出行效率，提升车

路协同服务体验，强化管理者与出行者互动水平，成为亟待解决的问题。高速公路智能网联应用除了能带来社会效益外，如何能产生经济效益，也是非常重要的研究方向。本文将从技术、方案和应用3个维度探讨5G智能网联在高速公路部署的趋势。

2 高速公路5G智能网联技术探索

2.1 标准趋势

C-V2X标准^[1-3]工作始于2015年，3GPP各工作组主要从业务需求、系统架构、安全研究和空口技术4个方面开展工作。3GPP C-V2X标准化工作分为3个阶段，如图1所示。

- 第1阶段基于LTE技术满足LTE-V2X基本业务需求，对应LTE Release 14版本^[2]，包含LTE-D2D（点对点）的PC5接口和LTE蜂窝网的Uu接口，其中车与车（V2V）通信、车与路边基础设施（V2I）通信、车与人（V2P）通信均通过PC5模式，工作在5 905~5 925 MHz专用频段；车与网络/云（V2N/V2C）通信通过Uu模式，工作在运营商蜂窝网络频段。
- 第2阶段基于LTE技术满足部分5G-V2X增强业务需求（LTE-eV2X），对应LTE

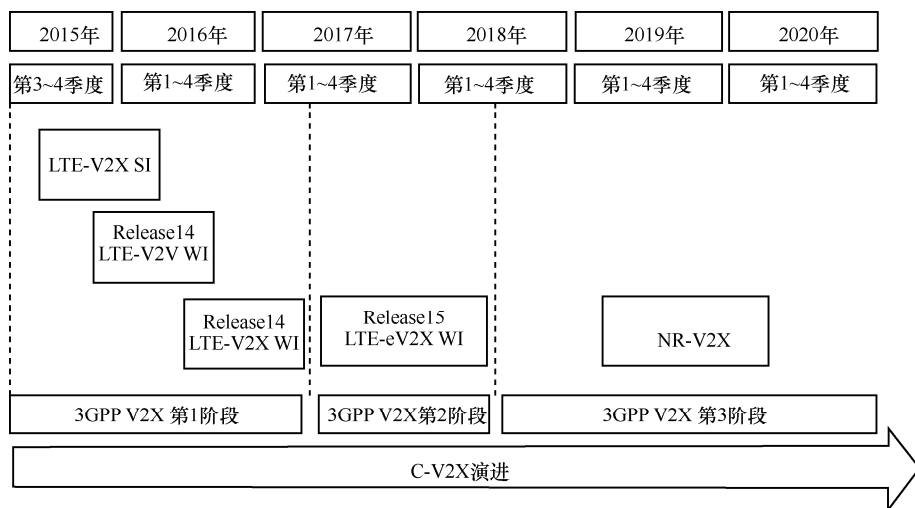


图1 C-V2X标准演进路线



Release 15 版本^[3]。

- 第3阶段基于5G-NR(5G新空口)技术实现全部或大部分5G-V2X增强业务需求,对应5G-NR Release 16、Release 17版本^[4]。

3GPP LTE-V2X定义了27种业务场景(3GPP TR22.885)^[5], 主要实现辅助驾驶功能, 包括主动安全(例如碰撞预警、紧急刹车等)、交通效率(例如车速引导)、信息服务等方面。

3GPP 5G-V2X定义了25种业务场景(3GPP TR22.886)^[6], 主要实现自动驾驶功能, 包括车辆编队、高级驾驶、扩展传感器、远程驾驶四大类功能^[7]。

中国已基本完成与LTE-V2X相关的接入层、网络层、消息层和安全等核心技术标准, 标准体系初步形成。汽车标准委员会T/CSAE 53-2017 DAY-I^[8]定义了17种典型车联网业务标准, 其中包括12种安全类业务、4类效率类业务、1类近场支付信息服务业务。将要发布的DAY-II定义了13种车联网业务标准, 其中包括自动驾驶类的车

辆编队场景等。

随着标准的逐步完善, 在高速公路场景下, 智能网联汽车业务将呈现出一种组合模式, 即“基于LTE-V2X安全类和局部效率类业务+5G Uu大带宽信息娱乐类业务和全局效率类业务+5G NR-V2X自动驾驶类业务组合模式”。

2.2 技术能力

智慧公路5G智能网联需要统筹考虑构建智能基础设施体系、信息安全管理体、应急管理体系、运营管理和决策分析体系。5G智能网联需要实现“感知、通信、计算”三大核心技术能力。这三大能力分布在车端、路端和云端, 如图2所示。

感知层面包括车端多传感器融合感知和路端全域感知。车端多传感器融合感知主要包括摄像头、毫米波雷达、激光雷达、超声波雷达、汽车电子标识、ETC等设备; 路端全域感知除了摄像头、毫米波雷达、激光雷达、超声波雷达、汽车电子标识、ETC、各类环境传感器等感知设备外, 还包括交通信号机、交通诱导屏、标志牌等智能交通设施。

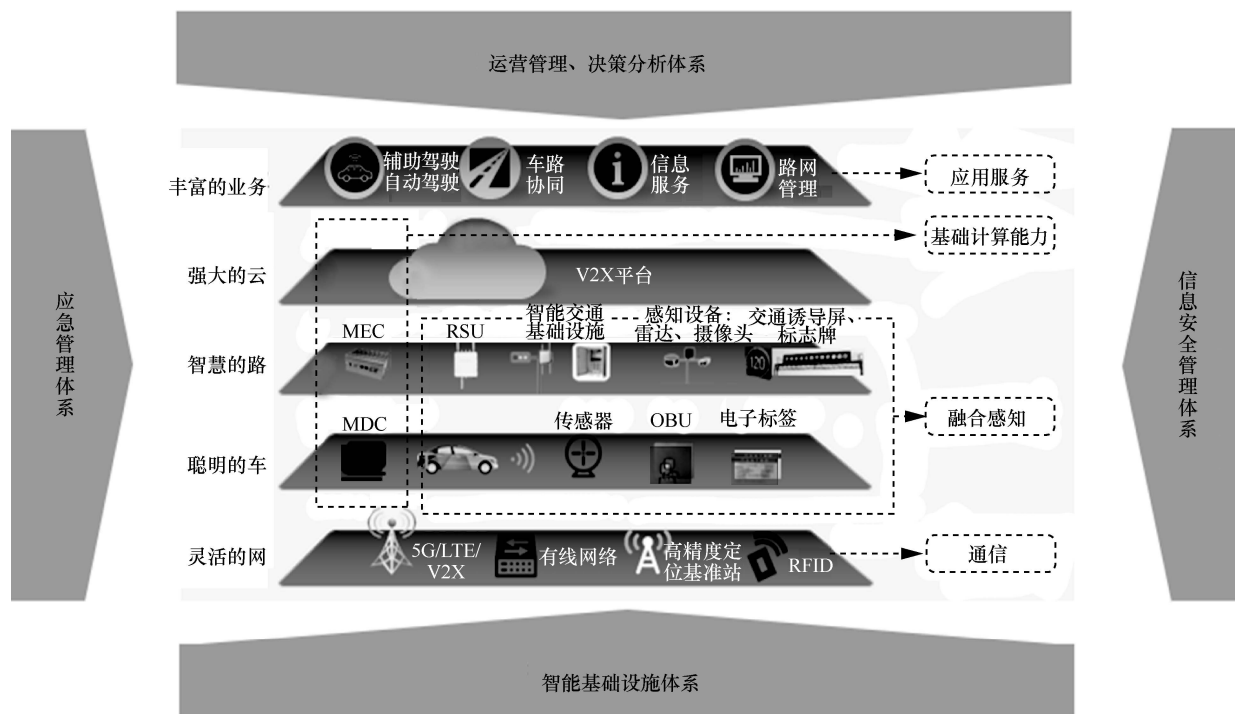


图2 高速公路智能网联系统架构

通信层面包括 4G 公网、5G 公网、有线光纤网络,尤其是随着 5G 网络商用化进程的加速,5G 网络部署逐步完善;C-V2X 专网,其中包括已经具备商用能力的 LTE-V2X 网络和随着标准完善,将开展技术验证的 5G NR-V2X 网络;物联网,既包括广域低功耗的 NB-IoT 和 LoRa,也包括各类 RFID 天线设备;除此之外,还包括高精度定位基准站。

计算层面包括车载计算单元、路侧边缘计算单元、云计算单元,分别部署在车辆、路侧/区域机房、数据中心。3 个层面的计算能力需要进行有效协同,共同支撑 5G 智能网联所需的计算资源。

3 高速公路 5G 智能网联方案

高速公路 5G 智能网联典型方案包括面向 C/B 端和面向 G 端的不同类型场景,如图 3 所示。其中面向 C/B 端,针对智能网联汽车(前装及后装网联车辆)和普通车辆(手机 App),可以提供主动安全类、提升效率类场景方案^[9]。

主动安全类场景具体包括前方隧道提醒、隧道内情况提醒、车道汇合碰撞预警、道路施工区

域提醒、紧急停车带位置提醒、危险品运输车辆提醒、特殊车辆提醒、异常天气提醒、限速提醒、车辆超速提醒、道路危险状况提示、变道预警、前向碰撞预警、拥堵提醒、团雾检测、道路结冰检测与预警、落石/抛洒物检测与预警、行人与动物闯入检测、能见度检测与预警、动态可行驶区域检测、护栏间距提醒、异常故障车辆预警、司机状态评测与预警、超视距视频感知、紧急制动预警、违章车辆预警、可变限速控制、动态诱导及绕行、临时路肩使用等。

提升效率类场景具体包括货车编队行驶、施工路段交通组织、匝道智能管控、应急车道临时借用、连续式港湾停车带等。

面向 G 端场景具体包括应急救援、服务区信息服务、区间测速、视频监控、嫌疑车辆追踪、违章车辆上报、交通事件上报等。

高速公路 5G 智能网联部署方案重点考虑高速公路拐弯变道、高架桥、隧道、收费站、服务区等重点区域。其中直道采用毫米波雷达,匝道或隧道口采用激光雷达。RSU 在道路两侧交错分布,雷达、摄像头等设备成对分布。龙门架、灯

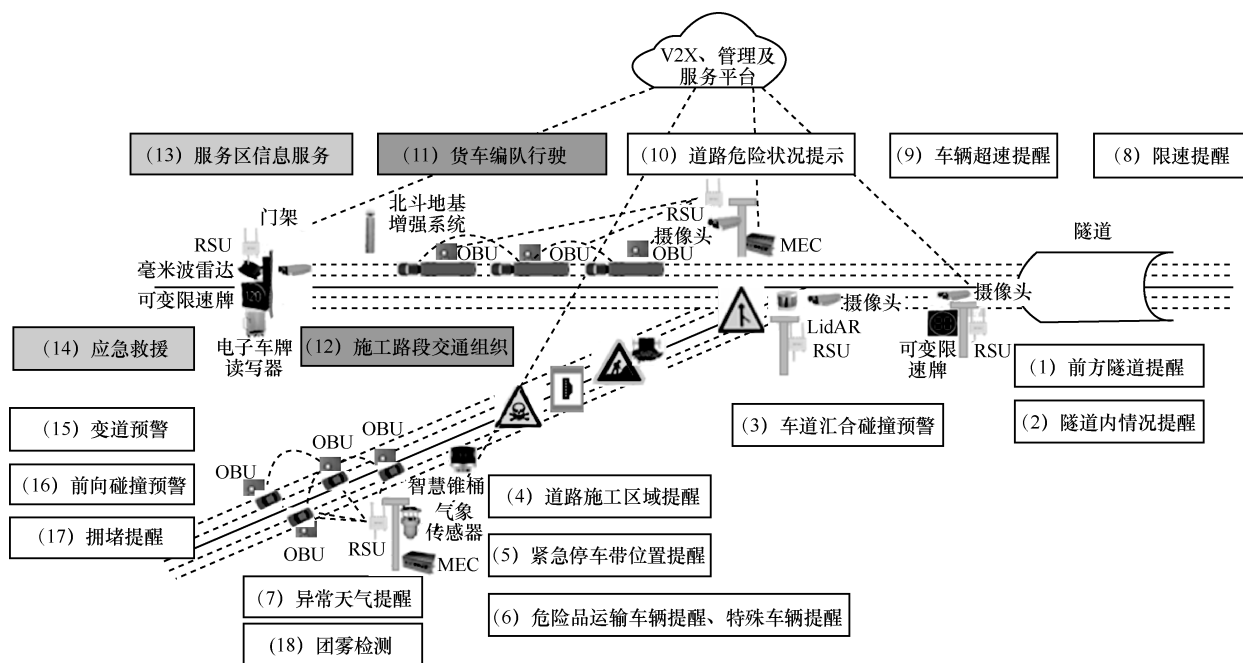


图3 高速公路车路协同场景示例



杆、测速杆等位置可利旧。

以高速公路自动驾驶难度最大的隧道场景为例。当前隧道监控手段主要为摄像头方式，但有近 10% 的事故误报率，主要原因是隧道内光线不强。通过激光雷达、高精度地图、摄像头结合，可以实现对隧道车况实时监控，迅速探测到事故并显示在指挥中心，供指挥中心调度。隧道内定位除了激光雷达外，还可以采用“RTK+IMU+UWB”融合定位方案，实现连续可靠的隧道内外高精度定位。

4 高速公路 5G 智能网联应用

高速公路 5G 智能网联通过众多安全类、效率类、管理类场景组合，可以形成多种应用。典型的应用包括高速公路物流应用、高速公路治堵应用等。

4.1 高速公路物流应用

高速公路 5G 智能网联可实现物流卡车的车道级定位、控制和诱导。利用北斗定位和 V2X 路侧单元获取车辆定位信息，判断物流卡车驾驶行为，通过路侧单元向车辆发送诱导控制命令以及事故多发路段实时消息等。同时，高速公路 5G 智能网联可实现物流卡车的编队行驶。例如车辆编队的过程管理和数据通信，包括创建车队、加入车队、编队巡航、离开车队、解散车队等状态的切换。

如果按照卡车 1 m 车距的编队要求，在时速 80 km/h 的情况下，车辆处理时间需要 10 ms，制

动感应需要 30 ms，那么网络时延必须小于 5 ms，即 $(5\text{ ms}+10\text{ ms}+30\text{ ms}) \times 80\text{ km/h}=1\text{ m}$ ，如图 4 所示。

编队行驶能减少运输企业对于司机的需求，降低人力成本以及降低驾驶员的劳动强度。另外，编队行驶中的后车可以减少风阻，降低车辆油耗。荷兰研究机构 TNO 研究报告指出，卡车编队行驶之后，后车大约可降低 10%~15% 的燃油消耗，以 100 km 油耗 35 L、油价 6 元/L、每年行驶 200 000 km 计算，油耗降低 10% 一年可节省 4.2 万元。

在编队行驶状态下，后车能瞬间跟随头车指令，降低车辆安全事故。此外，编队行驶让卡车以较小的间隙距离行驶，可以释放更多车道给其他车辆通行，提高高速公路吞吐量，显著改善交通拥堵并提升运输效率，进一步缓解交通压力。

4.2 高速公路治堵应用

高速公路拥堵是高速公路面临的艰巨挑战之一。高速公路拥堵通常包括常态拥堵和突发拥堵两类。常态拥堵例如高峰时段大车流拥堵、高速出入口拥堵、节假日拥堵、服务区拥堵等；突发拥堵例如交通事故、施工占道、路面异物、天气环境、慢速车辆导致拥堵发生。

利用 5G 智能网联手段治理拥堵需要经过拥堵监测、拥堵研判、拥堵消除等阶段。其中拥堵监测手段主要通过“雷达+视频”融合方式，并通过 MEC 设备在前端处理和判断。拥堵监测内容包括车辆监测、异常事件监测、道路状况监测和天气状况监测。其中车辆监测包括车速、车辆类型、

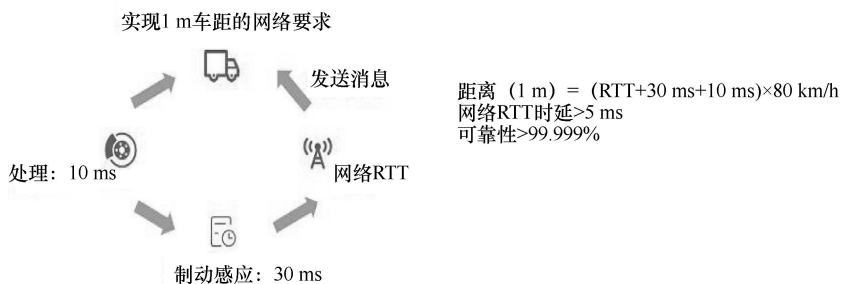


图 4 编队行驶场景时延要求

车道密度、车流量、排队长度等；异常事件监测包括交通事故、施工占道、非法停车等；道路状况监测包括路面异物、路面积水、路面破损等；天气状况监测包括雪天、雨天、雾天等。

拥堵研判主要基于交通态势进行分析研判，包括车流分析、路径对比、预测预警、分析统计等。拥堵消除手段主要包括车与路（I2V）协同手段、车与车（V2V）协同手段、动态诱导与提醒、拥堵处置等。车与路（I2V）协同手段通过路侧智能化设施向车辆提示前方实时路况、车速建议、交通事故提醒、道路施工提醒、路面异物提醒、匝道合流等；车与车（V2V）协同手段提供前车碰撞提醒、车道汇合碰撞预警、盲区提醒等；动态诱导与提醒包括导航 App、交通信息屏、诱导屏等；拥堵处置包括自动喊话（违规停车、事故处理后尽快离开）、无人机、交警现场处理等。

5 结束语

高速公路是 5G 智能网联重要的应用场景之一，从技术、方案、应用 3 方面进行积极探索，从而形成相关的智能网联道路分级标准规范，是未来重要的研究方向。

ETRAC（欧洲道路运输研究咨询委员会）在 INFRAMIX 项目和 ITS World Congress 2018 paper by AAE and ASFINAG 发布了 ISAD（自动驾驶的基础设施支持级别）^[10]，将道路划分为 5 个级别。E 级别最低，无数字化信息，不支持自动驾驶的传统基础设施，完全依赖于自动驾驶车辆本身；D 级别支持静态道路标识在内的静态数字化信息，而交通信号灯、短期道路工程和可变信息交通标识牌需要自动驾驶车辆识别；C 级别支持静态和动态基础设施信息，包括可变信息交通标识牌、告警、事故、天气等；B 级别支持协同感知，即可感知微观交通情况；A 级别支持协同驾驶，数字化基础设施可以引导自动驾驶车辆的速度、间距、车道。

中国公路学会自动驾驶工作委员会、自动驾

驶标准化工作委员会发布了《智能网联道路系统分级定义与解读报告》（征求意见稿）。从交通基础设施系统的信息化、智能化、自动化角度出发，结合应用场景、混合交通、主动安全系统等情况，把交通基础设施系统分为 I0 级（无信息化/无智能化/无自动化）、I1 级（初步数字化/初步智能化/初步自动化）、I2 级（部分网联化/部分智能化/部分自动化）、I3 级（基于交通基础设施的有条件自动驾驶和高度网联化）、I4 级（基于交通基础设施的高度自动驾驶）、I5 级（基于交通基础设施的完全自动化驾驶）。

未来可着重考虑高速公路的“感知—决策—控制”三大能力。其中感知需要解决的是高速公路道路基础设施的数字化、网联化和协同化；决策按照层级分为基于规则的专家系统、因果推理和行为预测；控制按照层级分为单车控制、协作控制和全域控制。按照高速公路的感知、决策和控制能力不同，可以将智能网联道路分为不同的等级，从而推进智慧高速公路建设。

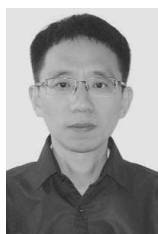
参考文献：

- [1] 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): 1-11.
CHEN S Z, HU J L, SHI Y, et al. Technologies, standards and applications of LTE-V2X for vehicular networks[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(4): 1-11.
- [2] 3GPP. New WID on 3GPP V2X phase 2[S]. 2017.
- [3] 3GPP. New SI proposal: study on evaluation methodology of new V2X use cases for LTE and NR[S]. 2017.
- [4] 夏亮, 刘光毅. 3GPP 中 V2X 标准研究进展[J]. 邮电设计技术, 2018(7): 11-16.
XIA L, LIU G Y. Research progress of V2X standard in 3GPP[J]. Designing Techniques Posts and Telecommunications, 2018(7): 11-16.
- [5] 3GPP. Study on LTE support for vehicle to everything (V2X) services: TR22.885, v.14.0.0[S]. 2015.
- [6] 3GPP. Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services: TR22.886, v.15.1.0[S]. 2017.
- [7] 吴冬升. 5G 车联网发展之道：人车路网云五维协同[J]. 通信世界, 2019(9): 16-18.
WU D S. The way of 5G IoV development: five dimensional collaboration of people, vehicle, road, network and cloud[J]. Communications World, 2019(9): 16-18.



- [8] 中国汽车工程学会. 合作式智能运输系统车用通信系统 应用层及应用层数据交互标准: T/CSAE 53-2017[S]. 2017.
SAE-China. Cooperative intelligent transportation system; vehicular communication; application layer specification and data exchange standard: T/CSAE 53-2017[S]. 2017.
- [9] 许玲. 蜂窝车联网设计初探[J]. 中兴通讯技术, 2017(6): 34-37.
XU L. Design of cellular internet of vehicles[J]. ZTE Communications, 2017(6): 34-37.
- [10] ERTRAC. Connected automated driving roadmap[Z]. 2019.

[作者简介]



吴冬升（1975—），男，博士，高新兴科技股份有限公司高级副总裁、战略与品牌总经理，广东省智能网联汽车与智能交通应用专业委员会副主任委员，粤港澳大湾区自动驾驶产业联盟副理事长，广东省车联网产业联盟专委会委员，广州市互联网协会 5G 专委会副主任委员，广东省物联网协会专委会委员，深圳市人工智能协会专委会委员，主要研究方向为 5G、车联网、物联网、大数据、人工智能、数字化转型、智慧城市等。



王传奇（1976—），男，高新兴科技集团股份有限公司战略总经理，粤港澳大湾区自动驾驶产业联盟副秘书长、中国“5G+车联网”专业委员会委员，主要研究方向为车联网、人工智能、智慧城市、5G 无线接入、5G 承载网、工业互联网。



金伟（1975—），男，高新兴科技集团股份有限公司战略方案总监，主要研究方向为 5G、车联网、物联网、云计算、大数据、人工智能、智慧城市等。



李凤娜（1983—），女，高新兴科技集团股份有限公司车联网解决方案总监，主要研究方向为车联网、ETC、电子车牌、智慧停车、智慧城市等。