



综述

蜂窝车联网（C-V2X）及其赋能智能网联汽车发展的辩证与建议

陈山枝

（中国信息通信科技集团有限公司无线移动通信国家重点实验室，北京 100191）

摘要：首先简要回顾了我国企业主导的蜂窝车联网（cellular vehicle-to-everything, C-V2X）国际标准，该标准解决了车车间及车路间的低时延和高可靠通信难题，兼具技术和产业优势，在全球产业竞争中已形成领先优势。在澄清车联网的相关概念、5G 与 C-V2X、车联网与车路协同、车联网与无人驾驶、单车智能与网联智能等相互关系的同时，阐述了本文的观点。进而，为抓住全球汽车产业革命和我国交通产业变革的重大战略机遇期，提出了我国基于 5G+C-V2X 的“聪明的车+智慧的路+协同的云”的车路云协同创新发展模式，实现智能网联汽车从智能网联辅助驾驶到智能网联无人驾驶及与智能交通融为一体的发展路径。最后，分析了相关产业进展情况与存在的问题，并提出相应的政策建议。

关键词：C-V2X；低时延高可靠通信；5G；智能网联汽车；车路协同；智能网联辅助驾驶；智能网联无人驾驶；智能交通

中图分类号：TP393

文献标志码：A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022154

Critical thinking and suggestions on C-V2X with the developments of intelligent connected vehicles

CHEN Shanzhi

State Key Laboratory of Wireless Mobile Communications,
China Information Communication Technology Group Co., Ltd.(CICT), Beijing 100191, China

Abstract: C-V2X (cellular vehicle-to-everything) is the international standards dominated by China's enterprises for V2X wireless communications. Based on a brief review of C-V2X, it was indicated that C-V2X could provide capabilities such as low-latency and high-reliability for communications between vehicles and the surrounding traffic elements. C-V2X has demonstrated an obvious surpassing international technological trend and industrial competitions because of technical advantages. The related concepts of V2X, the relationship between 5G and C-V2X, the relationship between V2X and vehicle-infrastructure cooperation, the relationship between V2X and self-driving ve-

收稿日期：2022-06-12；修回日期：2022-06-30

基金项目：国家自然科学基金资助项目（No. 61931005, No.61731017）

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No. No.61931005, No.61731017)

本文是作者根据其在 2021 年 4 月在北京召开的第 698 次香山科学会议（“车路协同自动驾驶关键科学问题及技术前沿”）所作的中心议题评述报告“高速移动环境下低时延高可靠车联网通信技术体系”的部分内容修改完善的。



hicles as well as the relationship between individual vehicle with intelligence and connected vehicles with cooperative intelligence, were clearly clarified. The insights about the development of C-V2X and intelligent connected vehicles (ICV) were presented. Facing the great strategic opportunities of global automobile industry revolution and China's transportation industry reform, the innovative development mode of vehicle-infrastructure-cloud cooperation based on "5G+C-V2X" was proposed accordingly. Finally, the industrial progresses and problems were discussed with corresponding policy suggestions.

Key words: C-V2X, low-latency and high-reliability communication, 5G, intelligent connected vehicle, vehicle-infrastructure cooperation, I&C assistant driving, I&C self-driving, intelligent transportation

1 蜂窝车联网 (C-V2X) 概述

1.1 背景

汽车作为现代社会重要的交通工具,给人类带来舒适和方便,但随着其数量的快速增长,交通安全、城市拥堵、环境污染和碳排放等问题日趋突出^[1]。近几年来,汽车工业呈现电动化、智能化、网联化、共享化的“新四化”发展趋势,智能交通系统领域提出数字化、网联化、智能化、自动化等发展方向,均迫切需要车联网为其提供基础性的通信和连接支撑能力。

因此,车联网(vehicle-to-everything, V2X)技术应运而生,可实现车车(vehicle-to-vehicle, V2V)、车人(vehicle-to-pedestrian, V2P)、车路(交通基础设施)(vehicle-to-infrastructure, V2I)、车网络/云(vehicle to network/cloud, V2N/V2C)等通信连接和高效准确的信息交互^[1]。车联网技术结合人工智能、大数据、云计算、视觉和雷达感知、高精度地图和高精度定位等技术,满足目前智能交通系统在汽车行驶安全、效率提升和信息服务等方面的需求,为汽车向自动驾驶与无人驾驶系统的平滑演进提供技术支撑^[1]。

车联网是通信与交通、汽车的跨界融合,其初衷是安全和效率,同时具有新时代的要求:碳中和下的节能减排、自动驾驶时的舒适与娱乐。

车联网技术已引起美洲、欧洲、亚洲等的高度重视,多个国家将该产业作为战略制高点,通过制定国家政策或立法推动其发展。

1.2 车联网特殊需求与挑战

车联网是通信、交通、汽车行业融合的国家战略和行业发展需求,国家“十四五”规划中明确指出“要积极稳妥发展车联网”^[2]。对于交通行业,车联网支撑道路安全、交通效率和节能减排;对于汽车行业,车联网支撑从辅助驾驶到未来的无人驾驶及其信息娱乐需求。不同类型的车联网应用,具有多样化的通信要求,主要分成如下两大类。

- 道路安全和自动驾驶类应用(主要是 V2V、V2I、V2P),要求低时延高可靠,实现近程数据实时交互。
- 交通效率和信息娱乐类应用(主要是 V2N),则是时延不敏感通信,实现远程信息服务。

对于车联网而言,实现近程数据实时交互的低时延高可靠通信是其根本挑战,要求毫秒级时延、90%以上可靠性。

低时延高可靠车联网通信面临的工程科学问题和技术挑战如下。

- 复杂快时变无线传播环境:由于车辆相对时速 500 km 运动(按照 3GPP 标准要求)非视距场景多及周围有大量散射体等,比蜂窝移动通信中的无线传播环境更复杂多变。
- 高频度、群发群收的车车间通信:多车对多车间的周期性通信,发送 10 次/(车·s)以上的车辆状态信息,导致无线资源的严重碰撞、系统容量受限。

- 车辆在高速运动过程中，其道路安全涉及的车、人等通信对象不确定且随机突发。
- 道路与驾驶安全对低时延高可靠的通信要求十分严苛，信息传递仅在一定区域范围内有价值且有时效性要求。

回顾蜂窝车联网（cellular vehicle-to-everything, C-V2X）技术提出之初，已有的技术如蜂窝移动通信、IEEE 主导的专用短程通信（dedicated short range communication, DSRC）和移动自组织网络（mobile Ad Hoc network, MANET），均不能满足车联网近程数据交互的严苛通信要求。

（1）蜂窝移动通信

具有覆盖广、容量大、可靠性高等优势，但其与车联网在通信场景、无线传播环境、通信特点与业务要求等方面均不同，车联网与蜂窝移动通信网的对比见表 1。蜂窝通信网在通信前需通过信令建立连接，且用户数据需经过基站转发甚至经过核心网，造成的时延高（如 4G 网络的端到端传输时延超过 100 ms^[3]），可以支持 V2N，但达不到 V2V/V2I/V2P 场景的通信性能要求。

（2）DSRC（IEEE 802.11p）

基于 IEEE 802.11 改进的专用车联网技术，其标准在 2010 年制定完成，有测试验证和部分应用。但由于其采用载波侦听多点接入/碰撞避免机制（carrier sense multiple access/collision avoidance, CSMA/CA），即基于信道竞争的资源分配方法，随着通信车辆数量增多，时延及可靠性急剧下降；采用非同步系统，用户间干扰大，并发用户少。因此，DSRC（IEEE 802.11p）的传输可靠性、系统容量无法满足要求。

（3）MANET

MANET 与车联网具有相同点：拓扑结构动态且变化快；网络控制是无中心、分布式的；多节点共享无线信道；有限的无线传输链路资源；安全挑战大等。但两者还存在较大的区别，具体见表 2。MANET 无法满足车联网近程数据实时交互的通信要求。车载自组织网络（vehicular Ad Hoc network, VANET）是 MANET 的一个重要分支，强调独立于通信基础设施，其采用的车辆间无线通信技术通常指 IEEE 802.11p。

表 1 车联网与蜂窝移动通信网的对比

	通信对象与场景	时变无线传播环境	通信信道	通信业务特点	通信频度	时延与可靠性的业务要求
蜂窝移动通信网	以人为主向物拓展，80%为静止或低速移动	基站天线高（约 20 m）	点对多点共享（基站集中控制，基站对多个终端）	点对点为主，广域通信为主	多为低频度通信	要求不一，大部分业务对时延和可靠性容忍
车联网	车及周边交通元素，80%为高速移动	V2V、V2P、V2I 等直接通信时车间遮挡及多个移动反射体。V2I 路侧设备约 7 m 高度	多点对多点共享（分布式控制，多车对多车）	V2N 与蜂窝通信一样，但 V2V、V2I 和 V2P 属局域多点对多点并发通信	通信频度高（发送 10 次/（车·s）以上状态信息）	V2N 对时延和可靠性容忍，但 V2V、V2I 和 V2P 对时延和可靠性要求苛刻

表 2 车联网与 MANET 对比（着重 V2V、V2I 和 V2P 场景）

	通信对象	通信地理范围	节点移动性	通信信道	通信频度	低时延高可靠	信息时效性	应用场景
MANET	随意加入或离开，但大多应用相对固定	不一（从几米到百千米）	节点任意移动，但移动速度不一	多跳多点共享	多为低频度通信	大多无要求	大多无要求	战术网络、传感器网、应紧通信、野外科考、个域网等
车联网	不确定，变化大	短距离约 1 km（道路安全信息时效性）	节点高速移动，但移动有规律	单跳多点共享	通信频度高（发送 10 次/（车·s）以上状态信息）	严苛	严苛	V2V、V2I 和 V2P 等通信



1.3 蜂窝车联网 (C-V2X)

针对上述车联网通信的科学问题和技术挑战, 基于对现有技术及其缺陷的分析, 作者及其大唐电信集团¹团队在 2011 年开始研究融合蜂窝移动通信与短距直通信的车联网技术, 解决上述技术挑战, 并充分利用移动通信的先进技术及产业规模经济优势。作者于 2013 年 5 月 17 日(世界电信和信息社会日)在业界首次提出 LTE-V(即 LTE-V2X) 概念与关键技术^[4], 确立了 C-V2X 的系统架构和技术路线, C-V2X 的蜂窝与直通融合系统架构和控制方式如图 1 所示。C-V2X 包括如下两种通信方式。

(1) 基于终端间直通通信方式 (PC5 接口): 近程数据交互

实现 V2V、V2I、V2P 短距离的低时延高可靠通信, 支持道路安全类实时应用的近程数据交互, 采用基站集中控制或终端间分布式信道接入控制、资源管理和干扰控制方法, 在蜂窝覆盖范围内、部分覆盖范围、覆盖范围外时均可工作,

即可以独立于蜂窝移动通信网络工作。

(2) 基于蜂窝通信方式 (Uu 接口): 远程信息服务

通过基站转发实现 V2N 的长距离、大带宽通信, 支持远程信息服务, 采用基站集中式控制方法, 只能在蜂窝覆盖范围内工作。

C-V2X 通过终端直通信和蜂窝通信两者间的高效协同, 为多样化的车联网应用提供不同通信要求。C-V2X 两种通信方式及其对应的 Uu 接口与 PC5 接口对比见表 3。

作者及其大唐团队在 2015 年开始联合华为、LG 等相关企业在 3GPP 制订国际标准, 随着 4G 向 5G 演进, C-V2X 标准包括 LTE-V2X 和 NR-V2X。从技术与标准体系的演进看, LTE-V2X 奠定了 C-V2X 的系统架构和直通链路关键技术原理, 在网络架构、无线接入、资源分配、同步机制等关键技术上, NR-V2X 均沿用了 LTE-V2X 的技术原理, 并利用 5G 新空口 (new radio, NR) 的先进无线技术, 对高级自动驾驶等应用需求进

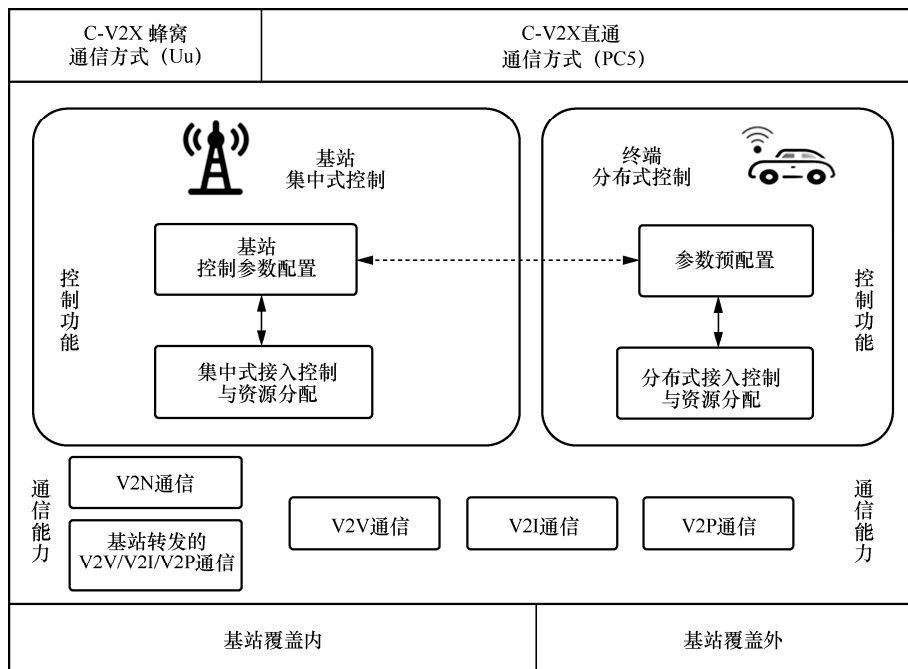


图 1 C-V2X 的蜂窝与直通融合系统架构和控制方式

¹ 2018 年已与烽火科技集团合并为中国信息通信科技集团

表 3 C-V2X 两种通信方式及其对应的 Uu 接口与 PC5 接口对比

通信方式	接口	信令建立连接	用户数据	控制方式	支持业务例子	业务特征	频谱	5G 网络切片
蜂窝通信	Uu	需要	远程信息服务 (经基站转发, 长距离通信)	集中式	基于 V2N 的地图下载、信息娱乐等应用	大带宽、时延不敏感业务	电信运营商的 4G/5G 频段	支持更佳
短距直通信	PC5	无须	车与车、车与路间的近程数据实时交互	集中式(基站覆盖内)或分布式(基站覆盖范围外)	基于 V2V、V2I、V2P 的道路安全业务	低时延、高可靠通信业务	智能交通系统(ITS)专用频段(5.9 GHz)	无须

注: Uu 为基站与终端(手机)间的无线链路(含上行(uplink)、下行(downlink)), PC5 为终端间的直通无线链路(sidelink)

行了针对性设计和改进。

C-V2X 车联网组网及其车路云协同应用如图 2 所示, 其中运营商的“端边云协同架构”在车联网表现为“车路云协同架构”。其中, 网络实体包括车载终端(on board unit, OBU)、路侧设备(road side unit, RSU)和移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)设备, RSU 一般安装在交通路口和必要的路段, 连接交通信号灯、路侧感知设备(如视频、雷达等), 为车提供路侧实时信息。实际产品中有 RSU 集成 MEC 功能。

C-V2X 在全球产业竞争已处于领先优势。2018 年, 工业和信息化部在全球率先为 LTE-V2X 在 5.9 GHz 分配 20 MHz 频段。2020 年, 欧盟委员会由原来仅支持 DSRC 转变为技术中立。2020 年, 美国联邦通信委员会(Federal Communications

Commission, FCC) 决定作废已经分配给 DSRC (IEEE 802.11p) 的 5.9 GHz 频段的 75 MHz 带宽, 重新划拨给 Wi-Fi 和 C-V2X 使用, 其中, 30 MHz 带宽分配给 C-V2X^[5], 表明美国正式放弃 DSRC 并转向 C-V2X。2021 年, 美国汽车工程师协会(Society of Automotive Engineers, SAE)停止了 DSRC 技术委员会的工作, 全力推动 C-V2X 技术委员会工作^[6]。可见 C-V2X 得到了中国和美国两个汽车与交通大国的认可, 将成为车联网无线通信唯一的事实国际标准。

2 澄清相关概念及误区

作者在跨界合作过程中, 发现业界存在某些混淆的概念及误区。本节尝试辨析与澄清, 并提出作者的观点。

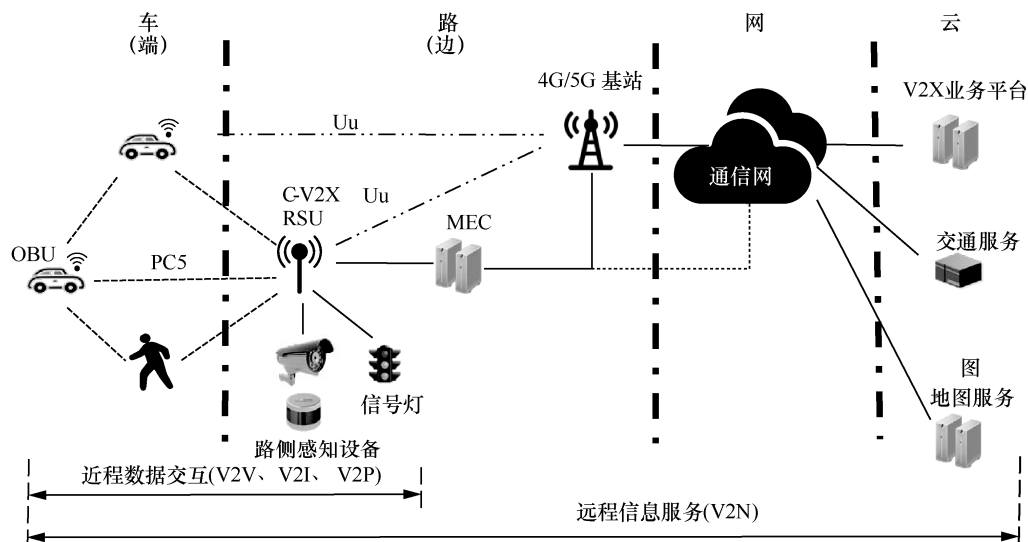


图 2 C-V2X 车联网组网及其车路云协同应用



2.1 车联网就是远程信息服务和 OTA 吗？

目前，业界容易将车联网简单等同于 3G/4G 时期的远程信息服务（Telematics）或空中下载（over-the-air, OTA）技术，这只是车云网通信。事实上，广义的车联网包括车内网、车云网和车际网^[1]，三者对比见表 4。

未来自动驾驶需要车内网、车云网、车际网三者有机结合实现。一方面，车际网（V2V 和 V2I）联合车载感知和路侧感知实现车与车、车与路间协同，即近程数据交互；另一方面，车云网实现车与边缘云和中心云平台通信，实现宏观交通服务，并开拓行即服务（mobility as a service, MaaS）等新商业模式和新市场。需要说明的是：C-V2X 技术可同时支持车云网（通过 Uu 接口）和车际网（通过 PC5 接口）；近期热议的低轨卫星通信只能为车辆提供远程信息和 OTA 服务，即 V2N 服务，

因为其时延和可靠性达不到 V2V 和 V2I 道路安全业务的严苛性能要求，但低轨卫星通信可以解决地面移动通信没有覆盖的偏远地区以及沙漠、极地等 V2N 通信难题，且在这些地区车辆稀少，对 V2V 和 V2I 的需求较弱。

2.2 车联网就是物联网吗？

物联网（Internet of things, IoT）的概念很泛化，因此有人将车联网看作物联网的子集。作者认为，两者区别是很大的，不能简单等同，车联网与物联网区别见表 5。物联网的短距离通信主要有 ZigBee、Wi-Fi、蓝牙、射频识别（radio frequency identification, RFID）等技术，广域网通信主要有 LoRa、NB-IoT（narrow band Internet of things）等技术。物联网技术在智能交通领域有广泛的应用，在此不再细述。对应 IoT，车联网也称 IoV（Internet of vehicles）。

表 4 车联网的概念辨析

	车内网	车云网	车际网
定义	汽车内部的通信网络	车与云（应用平台）间通信，也称车载移动互联网	车与相邻的车、路、人等之间的短距实时通信
支撑业务与应用	实现整车内部控制系统与各检测和执行部件间的数据通信	远程信息服务，实现远程诊断和车辆调度、交通流量疏导、软件升级、信息娱乐服务	近程数据交互，提升道路安全和交通效率，节能减排
通信技术	控制器局域网络（controller area network, CAN）、车载以太网（automotive ethernet）	3G/4G/5G、卫星通信 C-V2X (4G/5G Uu)	C-V2X (PC5)、DSRC (IEEE 802.11p)
特征	实时性、可靠性	对通信时延与可靠性没有高要求，信息娱乐时需要大带宽	低时延、高可靠

表 5 车联网与物联网区别

	物联网	车联网
通信终端类型	种类多（消费类、工业类、环保及公共安全类等）	车、路、人等
通信终端是否移动（运动）	绝大部分静止	终端（汽车）工作时运动
通信频度	低，物联网终端大部分时间处于休眠状态	高，单车的道路安全业务通信频度 10 次/s 以上
通信对象的物理范围	不同应用，短距和广域均有	V2N 是广域通信，但 V2V、V2I、V2P 间属局部通信（道路安全业务，通信对象约 1 km 范围内信息有价值）
功耗	超低功耗，单个电池运行多年，或能量自给（如震动能、光能、热能和射频能）	相对不敏感
通信时延	不同应用，要求不一。大部分业务要求不高	V2V、V2I、V2P 要求低时延（道路安全要求毫秒级）
通信可靠性	大部分业务要求不高	高，超过 99%
安全性	不同应用不同	高（涉及生命安全）

2.3 C-V2X 是广播通信吗？

作者团队最早提出 LTE-V2X 的初衷是要解决高速移动下多车对多车间且高频度通信的低时延高可靠难题。针对一个单跳多点共享无线信道，LTE-V2X PC5 的创新是结合车辆运动特征和周期性数据通信需求，提出预约和感知结合的分布式无线信道接入控制和资源分配机制，比 CSMA/CA 技术先进，也不是一个简单的广播通信机制。但为什么有人说 C-V2X 是广播机制呢？因为 PC5 无线物理层没有设计地址标识，发送时没有目的地标识，主要是为了解决车辆在高速运动中通信对象的不确定性问题，同时又巧妙实现了车与周围车辆、人、路间周期性交换状态信息的通信需求。LTE-V2X 在应用层已解决单播和组网问题。NR-V2X PC5 无线通信沿用了 LTE-V2X 基本方法，另外 NR-V2X 标准化时已支持层二应用的广播、多播和单播 3 种特性。

2.4 C-V2X 性能比 DSRC (IEEE 802.11p) 差吗？

文献[7]指出“C-V2X 在信息传输的时延上稍逊于 DSRC。在基于 C-V2X 的通信方式的车辆高密度 V2V 场景下，车辆以单播模式将数据上行传输至基站，基站再以多播模式将信息下行传至其他车辆，……，带来的后果是信息不能及时到达目的地址，消息可靠性降低”。该文献认为 V2V 通信要经过基站转发，时延高于 DSRC (IEEE 802.11p)，这是错误的理解。

过去几年，学术界和产业界从仿真验证、实际道路测试等多方面开展了 C-V2X 与 DSRC (IEEE 802.11p) 的比较研究工作。两者的具体原理与技术细节比较参见文献[8-16]。国际组织下一代移动通信网络 (Next Generation Mobile Network, NGMN) 联盟的 V2X 工作组联合 LG、大唐、高通等公司，对 IEEE 802.11p 和 C-V2X (LTE-V2X) 在相似假设条件 (如信道模型、业务模型等) 下，进行了链路级和系统级仿真^[15]。各公司系统仿真结果表明，以高速场景车辆相对速

度 280 km/h 为例，90%可靠性对应的通信范围，LTE-V2X 比 IEEE 802.11p 远约 170 m。2017 年，大唐和福特汽车在京津高速进行联合测试，测试结果显示：在相同的测试环境下，通信距离在 400~1 200 m 时，LTE-V2X 的分组错误接收率明显低于 IEEE 802.11p；典型通信距离为 600 m 时，IEEE 802.11p 分组错误接收率约为 37.9%，而 LTE-V2X 分组错误接收率约为 7.7%^[17]。相关学术研究表明 LTE-V2X 比 IEEE 802.11p 有明显的性能优势^[18]。可见，C-V2X 相比 DSRC (IEEE 802.11p)，具有更远的通信距离、更强的可靠性和更佳的拥塞控制能力。

2.5 5G 与 C-V2X 是什么关系？

通常业界将车联网归到 5G+ 的行业应用。2021 年工业和信息化部等十部门公布《5G 应用“扬帆”行动计划 (2021—2023 年)》，在行业融合应用深化行动中提出“5G+车联网”^[19]。作者多次在公开报告中指出“车联网是 5G 单体最大规模的行业应用”^[20]。

5G 针对增强型移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB)、大连接物联网 (massive machine-type communication, mMTC)、低时延高可靠通信 (ultra-reliable & low-latency communication, URLLC) 3 个典型场景分别提出了 Gbit/s 用户速率、每平方千米百万级连接数、毫秒级空口时延等性能指标。有专家根据这 3 个指标，认为 5G 能满足自动驾驶的需求。需要指出的是，这 3 个性能指标是针对 3 种不同典型场景分别提出的，是很难同时实现的，且在标准中均针对 Uu 接口。NR-V2X 是基于 5G NR 技术设计和改进的，包括 PC5 接口和 5G Uu 接口。

(1) 5G URLLC 能支持车联网吗？与 NR-V2X 的关系是什么？

5G URLLC 具有低时延高可靠的通信能力，因此，业界常误认为 5G URLLC 能支持车联网应用。

但需要指出的是，5G URLLC 基于 Uu 接口，因此通信前需要信令建立连接，从空闲态到连接



态需要 100 ms 以上,且用户数据需经过基站转发。URLLC 所指的毫秒级空口时延指已建立连接后的用户数据从基站到终端的空口传输时延。在 5G URLLC 实现低时延技术包括上行配置传输、微时隙 (mini-slot)、URLLC 抢占 eMBB 等;实现高可靠传输技术包括 URLLC 调制与编码策略 (modulation and coding scheme, MCS) 映射表 (即通过降低调制和编码等级阶数提升空口传输的可靠性,但其代价是降低了频谱效率)、数据信道重复传输、分组数据汇聚协议 (packet data convergence protocol, PDCP) 复制等。总之,事物总是辩证的,5G URLLC 通过牺牲频谱效率、重复传输与冗余、其他 eMBB 用户性能等,保障低时延和高可靠,即 5G eMBB 和 URLLC 两个业务是相互影响的,频谱效率 (数据速率) 和低时延、高可靠间是矛盾的。

5G URLLC 的低时延高可靠通信不能支持车联网应用,主要应用于静止或中低速移动的工业互联网和并发用户数有限的虚拟现实 (virtual reality, VR) 场景,难以支持车辆高速移动时的低时延高可靠通信。而 NR-V2X 基于 PC5 接口的通信无须提前经信令建连接且无须经过基站转发,是车与车、车与路间直接通信的。两者的对比见表 6。因此,5G 的 URLLC 不等同于 NR-V2X 的 PC5。

业界有专家讲:5G 的 3 个性能指标 (Gbit/s 用户速率、每平方千米百万级连接数、毫秒级空口时延) 支持车联网,是不严谨的。事实上是“5G+车联网”即“5G eMBB Uu + C-V2X PC5”才能同时实现大带宽通信和低时延高可靠通信,以支持智能驾驶与智能交通各类应用。

(2) C-V2X 需要 5G 网络切片支持吗?

首先,C-V2X 的 PC5 接口是终端间直接通信,

不经过基站,因此与 5G 网络切片没有关系;即 V2V、V2I、V2P 业务无须 5G 网络切片支持。其次,C-V2X 的 Uu 通信,即 V2N 需要 5G 网络切片支持更佳,如高清地图下载、车联网认证等,以保障通信性能和提高安全性。具体见表 3。

(3) C-V2X 为什么加定语“蜂窝”?

蜂窝车联网 (C-V2X) 可以独立组网,工作在基站覆盖外场景,且 V2V、V2I、V2P 等道路安全业务无须通过基站转发,是终端间短距直接通信实现的,为什么前面要加个定语“蜂窝”? 有以下 3 个因素。

- C-V2X 中 LTE-V2X 和 NR-V2X 的无线物理层均是基于蜂窝通信系统(4G LTE 和 5G NR),针对车联网高速移动低时延、高可靠性挑战进行设计和改进的。
- C-V2X 的直通通信 (PC5) 在基站覆盖内时,可以由基站进行集中式资源配置与管理。
- V2N 业务需要蜂窝通信 Uu 实现。

(4) LTE-V2X 与 NR-V2X 的关系

C-V2X 在 3GPP 的标准化包括两个阶段:LTE-V2X 和 NR-V2X。两者之间是互补和共存的关系。

LTE-V2X 主要支持车联网基本应用,提供道路安全、中低速自动驾驶所需的信息协同;NR-V2X 为车联网增强应用,即高级自动驾驶和车辆编队行驶等提供协同能力。

在 3GPP 的标准中,已考虑了 LTE-V2X 和 NR-V2X 的共存设计。在终端侧,考虑了 NR-V2X 与 LTE-V2X 直通链路的设备内共存,即双模工作。在核心网侧,支持 4G/5G 核心网双连接场景,

表 6 5G URLLC 和 NR-V2X (PC5) 的对比

	接口	信令建连接	用户数据	应用类别	终端移动性
5G URLLC	Uu	需要	经基站转发	工业互联网, VR 场景	静止或中低速移动
NR-V2X (PC5)	PC5	无须	短距离直接通信	车联网	高速移动

无论 NR-V2X 还是 LTE-V2X 的 PC5 直通信，LTE-V2X、NR-V2X 与 4G/5G 核心网的配合工作见表 7。

表 7 LTE-V2X、NR-V2X 与 4G/5G 核心网的配合工作

	LTE-V2X	NR-V2X
4G 核心网	√	√
5G 核心网	√	√

行业应用实际需求和产业成熟度决定采用何种技术。当前的辅助驾驶（L1、L2）、特定场景（L3）和限定区域的中低速自动驾驶（L4）应用，LTE-V2X 均能支持。而未来的全场景开放道路的无人驾驶（L5）和车辆编队行驶则需要 NR-V2X 支持。

（5）C-V2X 的建网运营模式

C-V2X 的两种组网运营模式：电信运营商建网运营、第三方独立建网运营，具体组网与应用已在图 2 中呈现。

我国汽车存量 4 亿多辆，由于人们采用手机导航，基本游离于电信服务之外。我国电信运营商的优势有实力建设 C-V2X 全国全程全网，互连互通简单，运维体系健全且能力强，可以结合 5G 通信能力和手机通信资费创新 C-V2X 增值服务，并提高用户数（潜在 4 亿新用户）和用户服务黏

性；但缺乏对交通和汽车行业需求的深入了解，存在跨界合作的磨合时间。

因为 C-V2X 可以独立于 4G 和 5G 网络建设和运行，高速公路业主、城市政府许可的特许经营公司，作为第三方独立建网运营，即智慧路网运营商，其建设与运营目标专一；但运维能力有挑战，且容易产生碎片组网问题。

两种模式都需要商业模式创新，积累行车和交通等大数据，提供增值的出行服务，并与保险业合作实现商业创新等，从长远看数据是资产和价值所在。

2.6 车联网就是车路协同吗？C-V2X 的 V2V 应用要依赖于 RSU 和 V2I 吗？

目前，业界谈到车联网等同于车路（V2I）协同，事实上还应包括车车（V2V）协同、车云（V2N）协同。V2V、V2I 协同是短距离通信，实现道路安全和微观交通，对时延与可靠性要求高。V2N 协同对时延能容忍，支持宏观交通，C-V2X 应用对比见表 8。

当前车车（V2V）协同的商业价值是支持辅助驾驶，提高主动安全性能。商用 L1 和 L2 级别的汽车已经配备了雷达、视频等传感器，实现高级驾驶辅助系统（advanced driving assistance system，

表 8 C-V2X 应用对比

应用类别	主要应用场景	地理范围	应用案例	通信要求	通信接口
V2V	道路安全，车辆编队等增强应用	局部	主动安全：盲区感知、变道辅助、高优先权车辆紧急通行	实时、可靠性要求高	PC5
V2I	道路安全、交通效率	局部与区域	微观交通：交通信号灯信息及车速引导，高速公路突发事件、临时施工，危险路段（匝道、隧道等）	实时、可靠性要求高	
V2P	弱势交通参与者（行人、摩托车、自行车）道路安全	局部	行人穿行路口等	实时、可靠性要求高	
V2N	交通效率	全局	宏观交通：交通信号全局优化、行车路径规划、流量疏导	非实时、可靠性要求不高	Uu
	远程监管与维护		车辆远程诊断和维护，两客一危一重的远程监管	非实时、可靠性要求不高	
	自动驾驶		高清地图下载	时延容忍	
	信息娱乐		视频娱乐	大带宽，但非实时、可靠性要求不高	



ADAS), 例如盲点检测、变道辅助、前向碰撞检测、自适应巡航 (adaptive cruise control, ACC) 和自动紧急制动 (autonomous emergency braking, AEB)。在此基础上, V2V 实现车车间信息与意图共享, 一辆车与周围的其他车辆交换有关速度、位置、航向以及车辆转向和刹车等实时驾驶信息, 如实现变道预警、网联 ACC 从而实现更高的主动安全。即使其他车辆或物体挡住了视线也能实现, 如网联 AEB 不限于相邻前后车, 同一车道的更远更多车辆协同制动, 就可以解决高速公路上的连环撞车问题。美国国家公路运输安全管理局 (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) 估计, 在美国, 每辆车都配备 V2V 技术, 通过 IMA (intersection movement assist) 和 LTA (left turn assist) 安全应用, 每年可以防止 400 000~600 000 例汽车碰撞, 可防止 190 000~270 000 例伤害, 并可以挽救 780~1 080 条生命^[21]。

车路 (V2I) 协同是指路侧采用各种感知技术实时获取车辆和道路信息 (如道路实时事故与紧急事件、车道级路网、交通信号灯等), 并通过车联网实现车路间信息共享和交互, 实现车辆和交通基础设施间的智能协同感知与配合, 实现提高道路安全、降低交通事故、优化利用交通系统资源、缓解交通拥堵的目标。车路协同系统中包括 3 类关键设备——C-V2X 的 RSU 和 OBU、路侧感知设备和 MEC 等, 如图 2 所示。

车云 (V2N) 通信则不具有实时性要求, 主要支持高精度地图下载、宏观交通管理与服务 (如行驶路径规划、全局交通优化、行驶策略更新等) 应用; 未来在无人驾驶时代, 还有车载信息娱乐需要 5G Uu 大带宽通信能力支持。

可见, C-V2X 的 V2V 应用不需要依赖 RSU 和 V2I 就能实现, 当然有 V2I 加持, 能进一步提升智能驾驶水平和道路安全。另外, 最初的车路云协同是为了支持无人驾驶, 但当前业界更关注车路云协同支持有人驾驶提升驾驶主动安全和舒

适性, 并服务于提升交通管理和城市管理水平。

业界有学者误认为有车路协同就不需要单车智能。而作者认为车路协同的前提是车“聪明”, 即单车智能, 但路也需“智慧”。两者相辅相成, 各有优势, 在不同场景和发展阶段, 发挥作用的比较可能会有些变化, 但两者是协同互补螺旋式上升发展的。

2.7 C-V2X 车联网应用就是无人驾驶吗?

首先, 为避免误解和混淆, 本文将 L1 至 L5 自动驾驶级别中的 L1 和 L2 归为辅助驾驶, L4 和 L5 归为无人驾驶。业界经常有人将 C-V2X 应用简单地与无人驾驶相捆绑, 作者认为无人驾驶是车联网的高级目标与应用之一, 但不是唯一。

车联网支持多样化的应用, 不仅是无人驾驶。在当前阶段具有商业应用价值的, 是支持有人驾驶时的智能网联辅助驾驶, 降低驾驶工作强度、提升驾驶安全、降低事故率、提高交通效率, 如本文提到的网联 AEB、网联 ACC 等。当前, 人的因素是造成事故的关键因素, 导致事故发生的占比达到 90% 以上。根据 NHTSA 统计, 94% 的交通事故是驾驶员疏忽造成的^[22]。研究表明, 如果提前 0.5 s 示警驾驶员, 60% 的追尾事故可以避免; 若驾驶员能提早 1.5 s 得到示警并采取措施, 则可以避免 90% 的追尾撞车事故^[23]。因此, C-V2X 车车间、车路间协同感知在毫秒级, 智能网联能为有人驾驶提升安全性能。

长远看, C-V2X 车联网是支持开放道路全天候的无人驾驶, 但该类无人驾驶的实现, 需要跨行业、跨领域、跨学科的前沿交叉创新, 以及政策、法律与监管等的完善与创新, 还受到交通伦理和公众接收度等约束。

2.8 无人驾驶是依靠单车智能还是网联智能 (车车协同、车路协同)?

通常认为无人驾驶有两条技术路线: 单车智能和网联智能 (或称车路协同)。单车智能也称自主式自动驾驶, 是指车辆单纯依靠车载传感器 (摄

像、雷达和导航等)与车载控制系统等自身能力,感知周边环境、实施决策控制、执行行驶操作,实现无人驾驶。网联智能也称协作式自动驾驶,指利用汽车搭载先进的车载传感器、控制器、执行器等,并通过车联网实现车与周围的车、路及云等信息共享和交互,具备复杂环境协同感知、协同决策和协同控制等功能,实现无人驾驶。

目前虽然已有很多依靠单车智能的无人驾驶测试与实践,但真正实现安全可信的开放道路无人驾驶的挑战性仍然非常巨大。无人驾驶面临的是一个开放、复杂多变、不确定的环境,需要动态决策,无法事先穷举所有可能的交通场景供决策使用。而驾驶安全是生命攸关的大事,目前的单车智能没有达到像人一样能应对复杂交通环境的适应性和自主学习能力。

未知、罕见的事件被称为“极端场景”(corner case)或意外遭遇。人类具有常识、逻辑推理和类比能力,擅长处理未知事件和“极端场景”等长尾问题;而当前依赖数据的人工智能面对一些没有学习训练过的“极端场景”表现得“束手无策”,单车智能的无人驾驶规模商用很难落地。2020 年 6 月台湾嘉义高速公路上一辆特斯拉汽车撞上侧翻的厢式货车事故是一个典型的“极端场景”,类似事故已发生多起。可见,单车智能无人驾驶在商业上宣称累计安全测试里程达几百万千米还是有挑战的。

当前,单车智能存在的问题包括如下内容。

- 单车感知能力不足,最远探测距离为 200 m 左右,如视频、雷达和激光等传感器存在视距感知问题,且存在特殊光照和恶劣天气条件下感知能力受限等问题。
- 单车智能决策能力不足,其他交通参与者意图不明及盲区信息未知等,会造成决策困难。
- 长尾挑战解决困难,10%的投入已解决 90% 的问题,但剩下 10%的长尾问题可能需要

90%的投入才能解决,如图 3(a)所示。

- 单车智能自动汽车制造成本居高不下,从 L1 至 L5 级自动驾驶,需要不断加大传感器数量、提升感知精度,所需的算力呈指数级增长,如图 3(b)所示。
- 缺乏与周边车辆、交通设施的交互能力,如难以解决复杂路口通行效率和支持救护车、警车、工程车等优先路权等应用。
- 提升整体交通效率难,单车智能仅从个体角度优化,难以实现全局交通优化,提升整体交通效率难。

上述问题若仅依赖单车智能,没有车车和车路间的低时延高可靠车联网通信支撑的车车和车路间协同是很难实现的。

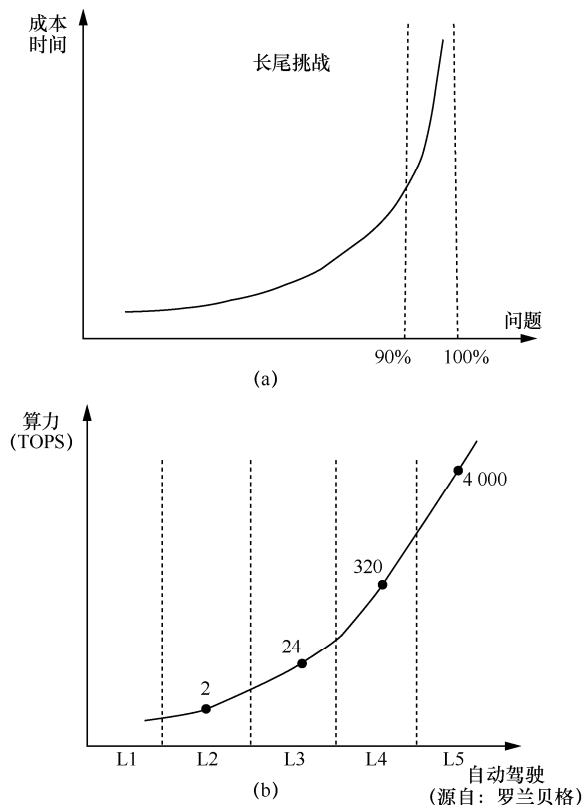


图3 单车智能的挑战与问题示意图

早期的无人驾驶试验以单车智能为主,但由于感知盲区、视线遮挡、恶劣天气环境影响等和必须安装大量高端精密的传感器以及加大算力造



成成本高等问题难以大规模商用。目前,通过车联网实现车车协同和车路协同,从单车智能向智能网联汽车演进,实现自动驾驶和智能交通,已成为产业方向和产业界共识。

在复杂多变的交通场景,没有车车协同和车路协同,单车自动驾驶反应过于迟钝,并影响交通效率。C-V2X+ADAS 实现的网联智能功能增强,可以降低对单车智能的高性能算力与感知精度要求,并提升对复杂场景和“极端场景”的适应性。一方面实现超视距感知;另一方面实现协作式主动安全,并降低自动驾驶的普及成本。

人类早期简单模仿鸟类的翅膀形状和运动规律飞行失败的原因是没有研究鸟类飞行的空气动力学原理。与之类似,单车智能是在模仿人类驾驶行为,利用摄像机、雷达及激光传感器等感知周围交通状况,实现无人驾驶是困难的。而基于车联网的网联智能是在单车智能的基础上,通过车车间和车路间感知共享、信息交互与意图共享,实现智能网联无人驾驶。后者需要研究解决低时延高可靠通信及协同感知、协同决策和控制等问题。

现代人是从小人进化而来的,而尼安德特人等其他人类物种却灭绝,因为智能人是具有语言沟通、唯一能大规模灵活合作的物种^[24]。因此,从哲学角度分析,无人驾驶需要从“单车智能”到“网联智能”,而智能交通需要升级到“群体智能”,通过大规模协作解决全局交通优化和交通堵塞问题,实现智能驾驶与智能交通融为一体。

但需要说明的是,网联智能不是不需要单车智能,恰恰相反,单车智能是网联智能的基础,也是无人驾驶的基石。而网联智能是单车智能的高级发展形态,解决单车智能无法解决的复杂危险场景。另外,随着智能网联汽车数量和比例的提高,C-V2X 路侧智能网联基础设施投资的边际成本将快速下降,经济与社会效益显著。

3 与 C-V2X 及智能网联汽车有关的两个观点和两个探讨

3.1 观点一: C-V2X 车路云协同是中国特色智能网联汽车和智能交通的发展模式

我国已是世界汽车的产销第一大国,且面临汽车产业百年未有之变局。当前,面对汽车产业革命的全球竞争机遇与挑战,工业和信息化部原部长苗圩把新能源汽车比作上半场,智能网联汽车比作下半场。

国外受制于多种因素,基础设施建设推进缓慢且效率低下。单车智能需要大规模数据、高性能算法和强大算力三大支撑,拼算力受限于集成电路先进工艺能力以及单车智能规模商用仍存在的瓶颈问题。因此,我国可充分发挥国家政策和跨产业统筹协调、信息通信产业、基础设施建设、应用场景和规模市场等优势,作者在多次会议中提出:我国将走出一条引领发展智能驾驶和智能交通模式,即基于 5G+C-V2X 车联网的“聪明的车+智慧的路+协同的云”的车路云协同发展模式,支撑我国汽车产业和交通行业的变革和创新,并将培育智慧路网运营商、出行服务提供商等新型商业模式,构建具有全球竞争力并展现中国“速度”的新产业生态系统。

3.2 观点二: C-V2X 车联网和智能网联汽车的发展路径——二个发展阶段和三类应用

作为智能交通、自动驾驶的重要使能技术,考虑行业发展阶段性、产业成熟性和政策协调的难易,车联网与智能网联汽车、智能交通应用将从简单特定场景向复杂场景拓展,在技术相对成熟、经济价值大、政策协调易的应用场景优先落地,C-V2X 车联网和智能网联汽车的三类应用如图 4 所示。先从提升驾驶安全、交通效率,降低人工成本起步,近期实现智能网联辅助驾驶和特定场景的中低速无人驾驶,且为未来引领全球的全场景无人驾驶奠定基础,即预计将经历二个发展阶段和三类应用。

- 应用一: 支持开放道路的智能网联辅助驾

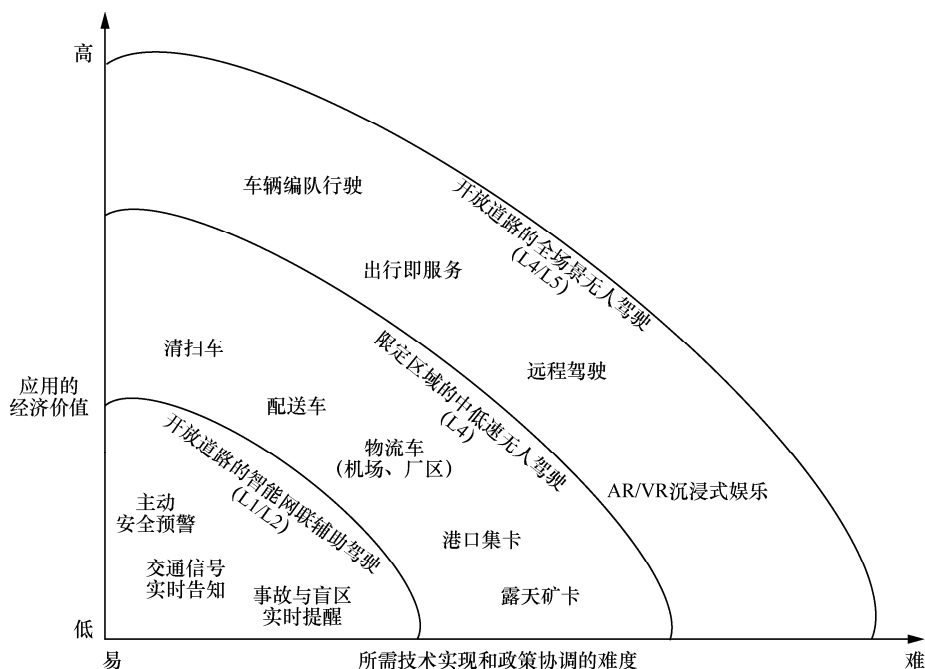


图4 C-V2X 车联网和智能网联汽车的三类应用

驶（L1 和 L2）。据统计，50%的事故发生在交通十字路口^[25-26]，因此主要在城市的交通路口和危险路段（匝道、隧道等）安装 LTE-V2X RSU 和部分感知设备，改造交通信号灯，实现驾驶员的安全提醒及交通信号灯信息同步等，降低事故率。同时 CACC 和 CAEB 的应用提升了交通安全和效率，也降低了驾驶员的工作强度。先从营运车辆（公交、两客一危、工程车、货车等）切入。需要 LTE-V2X PC5 接口、4G/5G 蜂窝（基于 Uu 接口）和车道级定位支持，提供车车、车路间的信息共享能力。

- 应用二：特定场景和限定区域的中低速智能网联无人驾驶（L4）。指定道路（如城市和高速公路的指定道路）或限定区域（如工业园区、厂区、港口、矿山、机场等）的无人卡车、无人物流车、无人清扫车、微循环无人小巴和接驳车等，降低人工成本，提高工作效率。需要 LTE-V2X PC5 接口和 5G 蜂窝（eMBB Uu），与部署的 MEC

相结合，支持协同感知和决策能力，5G eMBB Uu 支持高精度地图下载、导航、远程接管、高清视频回传等。

- 应用三：开放道路全天候全场景的乘用车智能网联无人驾驶（L4/L5）。需要 NR-V2X PC5 接口和 5G 蜂窝（eMBB Uu）支持，与 MEC 融合提供开放道路的协同决策和控制能力。NR-V2X PC5 支持车车、车路间的协同感知和协同决策，5G eMBB Uu 支持高精度地图下载、高清视频和 AR/VR 等信息娱乐。

可见，前两个应用即第一阶段所需要的技术，目前已成熟且有行业需求和痛点，可实现规模商用。

3.3 探讨一：车、路、云的自主决策及协同感知与优化

从实际分析，有人驾驶与无人驾驶的混合交通现象将长期存在。这也是无人驾驶的挑战所在，特别是我国复杂多变的交通路状况和交通行为。因此，业界提出了疑问：在车路协同下，若路侧提供了信息，当无人驾驶发生事故时，如何界定事故责任？

作者认为：车路协同只是提供车、路、云、



人之间的信息交互与信息融合能力；在此基础上，车、路、云都是自主独立决策。车是在融合自身感知信息和路侧信息下决策，可以说路侧信息是辅助或冗余。路对交通信号的控制、云对交通规划及路径诱导等是自主决策；且是在自主决策的基础上实现协同优化，不存在谁控制谁的问题。这样，责任相对清晰，同时遵循现有道路交通安全法规，有利于加快产业和应用推进。当然也需要车辆保险在政策和商业模式创新方面的配合，加快无人驾驶产业发展。

上述的自主决策建议对无人驾驶发生事故后的远程接管和特定场景的远程驾驶除外。

3.4 探讨二：提升我国高速公路运力的思考

预计到 2035 年，旅客出行量（含小汽车出行量）年均增速为 3.2% 左右，全社会货运量年均增速为 2% 左右^[27]。估计，我国高速公路运输能力需求保持 2%~3% 的年均增长速度，东部地区增速更高。这意味着，到 2035 年，东部地区的高速公路约翻一番。而高速公路每千米造价亿元级，并且面临土地供给、环保要求等刚性约束，存在严重挑战。

这种情况下，为了提升高速公路运力，只有提速或者提效。提速受限于高速公路硬件条件、弯道半径和坡度等状况，且人的动视力会随车速增加而下降。因此，考虑道路交通安全，提速并非好的选择，可以考虑从降低事故率、提高通行能力和运输效率入手。有研究估计，如果所有车辆都使用基本 ADAS 以及车车（V2V）通信技术，则高速公路的有效通行能力将提高 273%^[28]。作者认为 273% 可能是高估的，但给出了解决问题的新思路，若 ADAS 与 C-V2X 结合能提升交通运力 50% 也是价值巨大的。

4 当前发展车联网和智能网联汽车的主要问题与建议

4.1 C-V2X 产业推进情况

我国已将车联网提升到国家战略高度，国务

院及相关部委对车联网产业升级和业务创新进行了顶层设计、战略布局和发展规划，并形成系统的组织保障和工作体系^[29]。

（1）我国 C-V2X 产业已形成完备的产业生态，多厂商供货环境形成，具备规模商用能力

目前，我国企业在 C-V2X 发展上已取得领先优势，围绕 C-V2X 已形成包括芯片、模组、终端、设备、测试认证、安全服务、应用运营及整车制造等完整产业生态。华为、中国信科等企业研制出 C-V2X 芯片，多个厂商发布基于上述芯片的 C-V2X 通信模组；华为、中国信科、千方科技、星云互联等多家企业积极推广 OBU 和 RSU 产品；Apollo、信长城、数字认证、中国信通院等企业推动车联网安全体系确立；相关企业积极打造 C-V2X 测试验证体系，为产业发展提供可靠保证。

为促进 C-V2X 产业中整车、模组、终端、安全、地图、定位等企业的协同和跨界融合，加速 C-V2X 规模化商用步伐，IMT-2020（5G）推进组 C-V2X 工作组联合中国智能网联汽车产业创新联盟（China Industry Innovation Alliance for the Intelligent and Connected Vehicles, CAICV）等相关组织和企业，从 2018 年开始，连续举办了“三跨”“四跨”“新四跨”和“C-V2X 先导应用实践活动”（沪苏锡、武汉、柳州）等 C-V2X 互联互通测试应用示范活动，验证了车联网规模化商用的可行性。目前，我国已经具备实现车联网商用的基础。

（2）C-V2X 赋能智能网联汽车受汽车工业界认可

我国汽车行业组织（如中国汽车工业协会、中国汽车工程学会等）在积极推动 C-V2X 落地应用。面向车端，新车前装 C-V2X 逐渐提速，在智能网联辅助驾驶和特定场景的无人驾驶等环节已经落地。截至目前，已有十多家车企宣布 C-V2X 量产车型计划，包括一汽红旗、上汽通用、上汽奥迪、福特汽车、长城汽车、广汽、北汽、吉利、蔚来等。业界预测，2025 年，C-V2X 的新车搭载

率将达到 50%^[30]。部分车企在各智能网联示范城市已开始面向用户规模应用。福特汽车车路协同系统已落地无锡、长沙、广州等城市，实现的具体功能包括绿波车速引导、交通灯信号推送、闯红灯预警、绿灯起步提醒等。百度无人驾驶在多地实施车路协同技术。并且，2022 年 4 月中汽中心发布的《中国新车评价规程（C-NCAP）路线图（2022—2028 年）》中，认可使用 C-V2X 技术实现主动安全场景。

（3）国内 C-V2X 道路基础设施建设逐步推进，车联网先导应用开始落地

随着交通安全增强和效率提升、自动驾驶等各类车联网应用需求的不断出现，北京、无锡、上海、长沙等纷纷加快车联网基础设施建设部署并积极开展先导应用，目前 10 个国家级智能网联汽车示范区、4 个国家级车联网先导区和 16 个“双智”（智慧城市基础设施与智能网联汽车协同发展）试点城市相继批复。国内已有 3 500 多千米的道路实现智能化升级，20 余个城市和多条高速公路完成了 4 000 余台 LTE-V2X 路侧 RSU 的部署，各地方建设车联网应用服务平台，推动实现与交通管理平台、第三方服务平台的数据互通。

面向智能网联辅助驾驶的商用实践，包括智慧公交、智慧高速的社会营运车辆等应用，提升驾驶安全，改善交通效率。面向无人驾驶，C-V2X 技术在特定场景中正在助力中低速无人驾驶，包括矿山、港口、机场以及城市环卫清洁、园区接驳等场景。

4.2 当前发展车联网和车路云协同推进智能网联汽车与智能交通的问题

目前，在发展车联网、智能网联汽车和车路云协同等方面，“两率一感”亟待提升。“两率”即 C-V2X 路侧 RSU 覆盖率和车载 OBU 渗透率，“一感”即公众获得感。“两率”直接决定了车联网提升驾驶安全与交通效率的应用效果和公众获得感。车联网应用场景需要车与车、车与路存在时空交集，“两率”较低时，多方实时通信和协同

的频次低，车联网应用效果和价值便难以体现。此外，目前各地区车联网落地推进仍存在碎片化建设、重建设轻运营等问题，难以形成跨区域联动和规模化效应。

4.3 推进车联网与车路云协同的政策建议和发展探讨

从车联网产业发展演进路径来看，我国车联网产业已具备全球引领优势，迎来了支撑我国汽车和交通产业变革与跨越式发展的重大战略机遇期。我国要抓住当前关键时间窗口，统筹推进车联网和智能网联汽车规模商用，从提升驾驶安全、交通效率起步，从实现智能网联辅助驾驶和特定场景的智能网联无人驾驶入手，为未来引领全球开放道路全场景的智能网联无人驾驶奠定基础。

（1）加强国家战略层面的引导和协调，构建统筹高效的跨部委、跨行业组织协同机制

借鉴我国推动移动通信和电动汽车产业跨越性发展的宝贵经验，同时车联网产业发展涉及多个部门协调以及通信、交通、汽车、智慧城市等多个行业交叉，更需要强化国家顶层设计的指导，由国家层面牵头形成车联网汽车产业生态。建议继续在国家制造强国建设领导小组车联网产业发展专项委员会下，进一步加强工业和信息化部、交通运输部、公安部、住房和城乡建设部等部际协调机制，发挥地方政府的积极性，扩大车路协同的规模和区域示范的建设，鼓励适度超前建设“5G+车联网”和先行先试，推动公安和公交受控信息共享，孵化创新应用，探索新的商业模式。

（2）加速提升路侧 RSU 覆盖率及车载 OBU 渗透率，实现城市级的全域覆盖，加强互联互通

推动新产业创新发展，需要有为政府和有效市场的有机结合，前后衔接，推动车联网规模商用和车路云协同发展模式。

C-V2X 路侧 RSU 覆盖率和车载 OBU 渗透率决定了应用效果和用户体验，建议着力加强部署，如图 5 所示。一方面，需要在单个城市或某个区

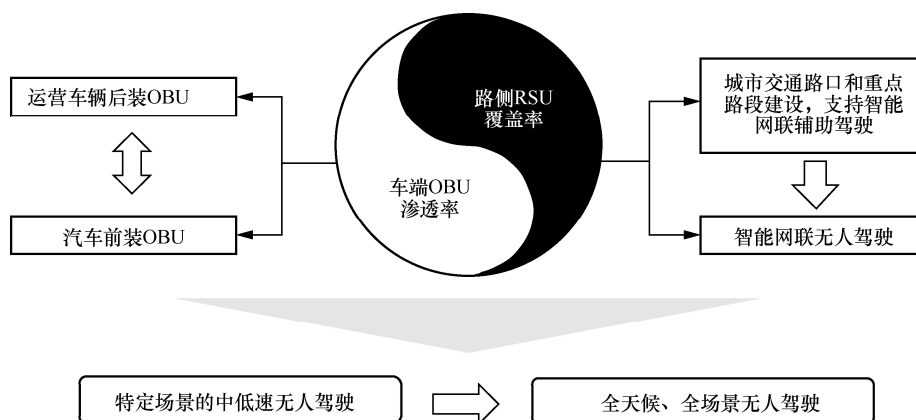


图5 推进两率, 逐步实现从“智能网联辅助驾驶”到“智能网联无人驾驶”

的全域提升路侧 RSU 和智能设备覆盖率, 主要是在区域所有交通路口、部分危险路段及高速公路路侧基础设施改造; 另一方面, 加速提升智能车载 OBU 渗透率。借鉴移动通信业务发展规律, 当 C-V2X 车载 OBU 达成一定规模渗透率(15%)后, C-V2X 市场化进程能自然启动并加速。目前我国智能网联汽车(L1/L2)量产新车型占比已达40%左右, 出台政策鼓励该类量产新车前装 C-V2X OBU 实现网联 ADAS 功能, 鼓励车企在示范区和先导区内积极推广前装 C-V2X 的汽车落地。实行营运车辆后装 OBU 加速渗透, 地方政府可给予一定政策扶持或补贴支持。

结合目前智能网联汽车示范区及先导区、双智慧城市应用, 促进感知、计算、通信、应用、服务等车路协同解决方案的迭代升级和优化, 最终将成功经验在全国进行大规模推广部署。

(3) 跨界合作, 分场景、分阶段推进车联网应用的标准化制定和推广工作

车联网的应用涉及汽车、交通甚至城市管理等, 需要高度重视跨界合作制定涉及智能网联汽车、智能交通等应用类标准, 包括近程数据交互标准、远程信息服务标准等。另外, 需要根据应用发展分阶段制定应用标准(如 L1/L2 的智能网联辅助驾驶、L4/L5 无人驾驶)。而现阶段重点是找到有行业痛点的场景应用, 跨界协力做精做细, 打磨完善应用, 做到场景打通, 使得消费者有感知。典型场景例如

网联 AEB、网联 ACC、红绿灯启停等。

5 结束语

依托 5G+C-V2X 发展智能网联汽车与无人驾驶是我国汽车产业实现创新发展战略, 也是交通行业变革的必然要求。2021 年的第 698 次香山科学会议上曾指出: “车路协同自动驾驶可望成为我国继高铁之后, 实现由交通大国走向交通强国的又一张新名片”。

虽然“车路云”协同发展模式是一个庞大且复杂的系统性工程, 但要抓住汽车和交通产业变革的关键时间窗口。当前推进车路协同建设应该像推进高速公路和高速铁路的适度超前建设一样, 将有力支撑我国汽车产业和智慧城市变革, 同时形成智能网联汽车与新能源汽车相互促进、协同发展, 提升全球竞争力, 从而支撑实现汽车强国和交通强国的战略目标。

参考文献:

- [1] 陈山枝, 胡金玲, 等. 蜂窝车联网(C-V2X)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
CHEN S Z, HU J L, et al. Cellular vehicle-to-everything (C-V2X)[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2021.
- [2] 新华社. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[J]. 中国水利, 2021(6): 1-38.
Xinhua News Agency. The outline of the 14th five-year plan (2021—2025) for national economic and social development and the long-range objectives through the year 2035 of P. R. China[J]. China Water Resources, 2021(6): 1-38.
- [3] ZTE. 5GAA A-180008, Latency evaluation for 5GAA architec-

- ture[EB]. 2017.
- [4] 大唐电信副总裁陈山枝: 未来积极推动 LTE-V 标准[EB]. 2013. Datang Telecom vice president Chen Shanzhi: actively promote LTE-V standard in the future[EB]. 2013.
 - [5] FCC. FCC moderhizes 5.9 GHz band to improve Wi-Fi and automotive safety[Z]. 2020.
 - [6] SAE standards development[EB]. 2022.
 - [7] 肖瑶, 刘会衡, 程晓红. 车联网关键技术及其发展趋势与挑战[J]. 通信技术, 2021, 54(1): 1-8.
XIAO Y, LIU H H, CHENG X H. Key technologies of Internet of vehicles and their development trends and challenges[J]. Communications Technology, 2021, 54(1): 1-8.
 - [8] 5G Americas. V2X cellular solutions[R]. 2016.
 - [9] CHEN S Z, HU J L, SHI Y, et al. LTE-V: a TD-LTE-based V2X solution for future vehicular network[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3(6): 997-1005.
 - [10] CHEN S Z, HU J L, SHI Y, et al. Vehicle-to-everything (V2X) services supported by LTE-based systems and 5G[J]. IEEE Communications Standards Magazine, 2017, 1(2): 70-76.
 - [11] CHEN S Z, HU J L, SHI Y, et al. A vision of C-V2X: technologies, field testing, and challenges with Chinese development[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(5): 3872-3881.
 - [12] 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.
 - [13] 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, 34(2): 179-185.
CHEN S Z, SHI Y, HU J L. Cellular vehicle to everything (C-V2X): a review[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2020, 34(2): 179-185.
 - [14] 5GAA. The case for cellular V2X for safety and cooperative driving[Z]. 2016.
 - [15] NGMN Alliance V2X Task-Force. Liaison statement on technology evaluation of LTE-V2X and DSRC[Z]. 2017.
 - [16] 5G Americas. White paper: cellular V2X communications towards 5G[R]. 2018.
 - [17] ZAGAJAC J. The C-V2X proposition[Z]. 2018.
 - [18] BAZZI A, CECCHINI G, MENARINI M, et al. Survey and perspectives of vehicular Wi-Fi versus sidelink cellular-V2X in the 5G era[J]. Future Internet, 2019, 11(6): 122.
 - [19] 十部门关于印发《5G 应用“扬帆”行动计划(2021-2023 年)》的通知[EB]. 2021.
Ten government bodies released 5G Application ‘Sailing’ Action Plan (2021-2023)[EB]. 2021.
 - [20] 陈山枝. 车联网是 5G 最大规模的单体应用场景[J]. 数据通信, 2018(5): 12.
CHEN S Z. C-V2X is the largest single application scenario of 5G [J]. Data Communication, 2018(5): 12.
 - [21] HARDING J, POWELL G R, YOON R, et al. Vehicle-to-vehicle communications: Readiness of V2V technology for application[R]. 2014.
 - [22] SINGH S. Critical reasons for crashes investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey[R]. 2018.
 - [23] National Transportation Safety Board. Vehicle- and infrastructure-based technology for the prevention of rear-end collisions[EB]. 2001.
 - [24] 尤瓦尔·赫拉利. 人类简史: 从动物到上帝[M]. 林俊宏, 译. 北京: 中信出版社, 2017.
YUVAL N H. Sapiens: a brief history of humankind[M]. Translated by LIN J H. Beijing: CITIC Press, 2017.
 - [25] WISCH M, HELLMANN A, LERNER M, et al. Car-to-car accidents at intersections in Europe and identification of use cases for the test and assessment of respective active vehicle safety systems[C]//Proceedings of the 26th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV). [S.l.:s.n.], 2019: 1-27.
 - [26] National Highway Traffic Safety Administration. Traffic safety facts annual report tables[R]. 2018.
 - [27] 国家综合立体交通网规划纲要[EB]. 2021.
Outline of the national comprehensive three-dimensional transportation network plan[EB]. 2021.
 - [28] TIENRAKOOL P, HO Y C, MAXEMCHUK N F. Highway capacity benefits from using vehicle-to-vehicle communication and sensors for collision avoidance[C]//Proceedings of 2011 IEEE Vehicular Technology Conference. Piscataway: IEEE Press, 2011: 1-5.
 - [29] 陈山枝, 葛雨明, 时岩. 蜂窝车联网(C-V2X)技术发展、应用及展望[J]. 电信科学, 2022, 38(1): 1-12.
CHEN S Z, GE Y M, SHI Y. Technology development, application and prospect of cellular vehicle-to-everything(C-V2X)[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(1): 1-12.
 - [30] 中国汽车工程学会. 节能与新能源汽车技术路线图 2.0[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021.
China Society of Automotive Engineers. Energy saving and new energy vehicle technology roadmap 2.0[M]. Beijing: China Machine Press, 2021.

[作者简介]



陈山枝(1969—), 男, 博士, 中国信息通信科技集团有限公司(CICT)副总裁、专家委员会主任、教授级高级工程师, 无线移动通信国家重点实验室主任、博士生导师, 国家杰出青年科学基金获得者, IEEE Fellow, 中国电子学会会士, 中国通信学会会士, 《电信科学》主编。负责 4G 和 5G 移动通信、C-V2X 技术与标准研究及产业化工作。曾获得国家科学技术进步奖特等奖、一等奖、二等奖, 国家技术发明奖二等奖, 何梁何利基金科学与技术奖, 光华工程科技奖等。目前主要研究方向为 5G 和 6G、车联网、卫星移动通信等。