
车路协同产业化推进路径分析

研究报告

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

2021年12月

编写单位

中国智能交通产业联盟

中路高科交通科技集团有限公司

同济大学

北京中交国通智能交通系统技术有限公司

北京速通科技有限公司

北京邮电大学

交通运输部公路科学研究院

自动驾驶技术交通运输行业研发中心

奥迪（中国）企业管理有限公司

电装（中国）投资有限公司

深圳市金溢科技股份有限公司

英特尔（中国）研究中心有限公司

之江实验室

上海长江智能数据技术有限公司

目录

1.	V2X 概述.....	3
1.1.	概念.....	3
1.2.	产业化意义.....	4
1.2.1.	提升行驶安全.....	4
1.2.2.	提高交通效率.....	4
1.2.3.	提供出行信息服务.....	4
1.2.4.	支持实现自动驾驶.....	4
2.	车路协同发展现状.....	5
2.1.	基于 C-V2X 车路协同.....	5
2.1.1.	技术化发展现状.....	5
2.1.2.	政策法规和标准化.....	7
2.1.3.	商业化/产业化应用.....	12
2.2.	基于 ETC 车路协同.....	19
2.2.1.	技术化发展现状.....	19
2.2.2.	政策法规和标准化.....	22
2.2.3.	商业化/产业化应用.....	23
3.	车路协同技术发展路径分析.....	24
4.	产业化路线及推进策略和发展建议.....	26

1. V2X 概述

1.1. 概念

V2X 即 Vehicle-to-Everything，是智能汽车和智能交通的支撑技术之一。V2X 包含车辆与车辆 V2V (Vehicle-to-Vehicle)、车辆与基础设施 V2I (Vehicle-to-Infrastructure)、车辆与行人 V2P (Vehicle-to-Pedestrian)、车辆与外部网络 V2N (Vehicle-to-Network) 等各种应用通信应用场景。目前而言，基于 V2V 通信车辆能够实现前方碰撞预警、变道辅助、左转辅助、协同式自适应巡航控制等，基于 V2I 通信可以实现速度建议、交通优先权、路况预警、闯红灯预警、当前天气影响预警、停车位和充电桩寻位等应用；基于 V2P 通信，能实现弱势道路使用者的预警和防护，基于 V2N 通信可实现实时交通路线规划、地图更新等服务。

目前国际上主要有 DSRC (专用短程通信) 和 C-V2X (基于蜂窝网络的 V2X) 两种技术方案。

1992 年美国 ASTM 就开始发展 DSRC 技术，美国和日本已经形成了完善的标准体系和产业布局。DSRC 由物理层标准 IEEE 802.11P 和网络层标准 IEEE1609 构成，信息内容和结构由 SAE 的 SAEJ2735、SAE2945 标准规范构成。DSRC 是一种双向半双工中短距无线通信技术，通信距离一般在数十米 (10m~30m)，可实现高速数据传输，带宽可达 3~27Mb/s。能指定授权带宽，实现安全可靠的通信；能快速获取网络，实现主动安全相关应用的高速更新；通信延迟能达到毫秒级，满足车辆信息交互的时间要求；高可靠性满足车辆高速行驶下工作，并且性能不会受极端天气的影响，支持 V2V 和 V2I 通信，有助于普遍部署应用。

C-V2X 技术依靠移动网络的发展，正处于快速发展的阶段，得到中国、欧盟等国家的高度重视。C-V2X 是一项利用和提高现有的长期演进技术 (Long Term Evolution, LTE) 特点及网络要素的信息技术，是 3GPP Release-14 规范的一部分，该初始标准侧重于 V2V 通信，并逐渐增强对其他 V2X 操作场景的支持。C-V2X 可支持的工作场景既包括有蜂窝网络覆盖的场景，也包括没有蜂窝网络部署的场景。落实到具体的通信技术而言，C-V2X 可提供两种通信接口，分别称为 Uu 接口 (蜂窝通信接口) 和 PC5 接口 (直连通信接口)。其中 OBU 是车载终端，安装在车里，而 RSU 则安装在路侧，通过 OBU 和 RSU 相互之间的通信来实现车和路的信息交互。

1.2. 产业化意义

1.2.1. 提升行驶安全

V2X 可以感知范围内全部交通参与方，没有视角和视线的局限。路侧利用激光雷达、微波雷达、摄像头等传感器，预知盲区车辆、“鬼探头”行人/骑车人等，把信息通过 V2X 实时共享给全部车辆，可最大限度消除危险隐患。同时，丰富的车车、车路、车人信息帮助车辆更好的做出决策，在必要时还能向车辆底层控制系统发送控制指令，减少交通事故，提升行车安全。美国交通部表示 36% 的交通场景必须依靠路侧感知，采取车路协同可以避免 81% 的多车相撞事故。

1.2.2. 提高交通效率

通过 V2X 增强交通感知能力，从单车智能到车路协同，整个交通系统从个体最优转向系统最优。优化道路资源分配，建立车车、车路、车人实时信息交互渠道，实现路口协作通行、全域交通优化调控等，使得交通系统网联化、智能化，构建智慧交通体系，通过动态调配路网资源，实现拥堵提醒、优化路线诱导，为城市大运量公共运输工具及特殊车辆提供优先通行权限，提升城市交通运行效率。极大的提高车辆与道路使用效率。ResearchGate 表示车路协同可减少 50% 出行时长。未来将解放出的时间可以转化成生产力，释放经济价值。

1.2.3. 提供出行信息服务

提供出行服务是 V2X 应用的重要组成部分，是全面提升政府监管、企业运营、人民出行水平的手段。V2X 当前可提供包括突发恶劣天气预警、车内电子标牌等典型服务类信息。

1.2.4. 支持实现自动驾驶

V2X 可以协同优化单车智能，降低车辆自动驾驶配置成本。通过本地信息收集、分析和决策，为智能网联汽车提供碰撞预警等服务，为自动驾驶提供辅助决策能力，提升自动驾驶的安全性；并降低车辆适应各种特殊道路条件的成本，加速自动驾驶汽车落地。一是降低传感器配置，减少单车改造成本。让车辆准确识别道路所有标识在当前技术手段下是极其困难的，自动驾驶系统处理所有偶发事件也需要付出高昂的代价。路侧单元对整体道路流量、交通事件、路况进行预判，作为安全冗余，降低车辆配置。二是缓解计算平台的算力压力。路侧多接入边缘

计算(Multi-access Edge Computing, MEC)的服务器部署在路侧单元上,传感器信号被 MEC 服务器直接处理,对车端算力需求下降。三是政府资金对公路智能化建设的投入,将会分担企业部分成本。

1.2.5 增强数据安全的合规性

V2X可以减少高级别单车智能对于数据收集的依赖性,车辆与路测设施的数据信息交互既可以满足自动驾驶功能需求,又保障了国家对于数据安全的管控。

2. 车路协同发展现状

目前,车路协同使用的 V2X 通信技术有 ETC 与 C-V2X 两大路线。ETC 车路协同主要基于 DSRC 技术,DSRC 是连结车辆与车辆(V2V)、车辆与路侧装置间的 RF 通用射频通讯技术,在车用环境中提供公共安全和中短距离通讯服务。C-V2X(Cellular-V2X,蜂窝车联网)技术在 DSRC 技术之后推出,由 3GPP 组织定义,基于蜂窝调制解调器技术,目的同样是在车辆之间进行直接无线通信。

2.1. 基于 C-V2X 车路协同

2.1.1. 技术化发展现状

C-V2X 可支持的工作场景既包括有蜂窝网络覆盖的场景,也包括没有蜂窝网络部署的场景。落实到具体的通信技术而言,C-V2X 可提供两种通信接口,分别称为 Uu 接口(蜂窝通信接口)和 PC5 接口(直连通信接口)。当支持 C-V2X 的终端设备(如车载终端,智能手机,路侧单元等)处于蜂窝网络覆盖内时,可在蜂窝网络的控制下使用 Uu 接口;无论是否有网络覆盖,均可以采用 PC5 接口进行 V2X 通信。C-V2X 将 Uu 接口和 PC5 接口相结合,彼此相互支撑,共同用于 V2X 业务传输,形成有效的冗余来保障通信可靠性。

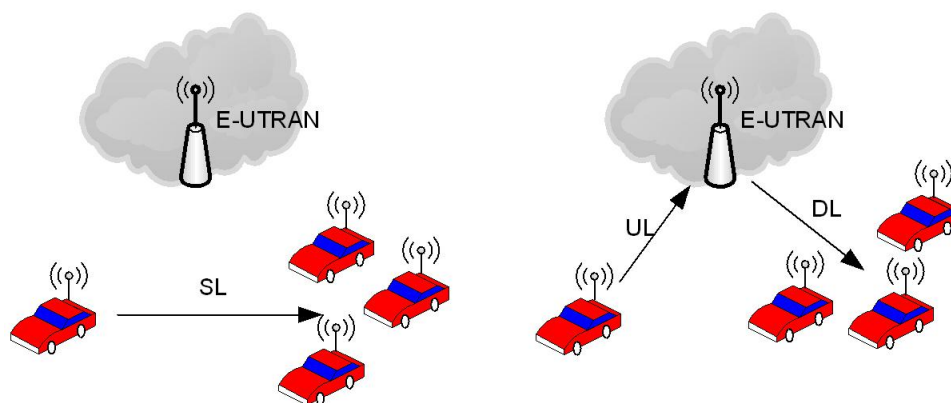


图 1: C-V2X 通信接口

1) PC5 接口关键技术:

C-V2X 在 PC5 接口上的机制设计是以 LTE2D 技术为基础，为支持 V2X 消息（特别是车辆之间的消息）广播、交换快速变化的动态信息（例如位置、速度、行驶方向等），以及包括车辆编队行驶、传感器共享在内的未来更先进的自动驾驶应用，在多方面进行了增强设计，主要包括：

- 物理层结构进行增强，以便支持更高的速度。

为了在高频段下支持高达 500 公里/小时的相对移动速度，解决高多普勒频率扩展以及信道快速时变的问题，C-V2X 对物理层结构进行了增强。

- 支持全球卫星导航系统同步。

为保证通信性能，C-V2X 的接收机和发射机需要在通信过程中保持相互同步。C-V2X 可支持包括全球卫星导航系统（GNSS）、基站和车辆在内多种同步源类型，通信终端可通过网络控制或调取预配置信息等方式获得最优同步源，以尽可能实现全网同步。C-V2X 还支持最优同源的动态维护，使得终端可及时选取到优先级更高的同步源进行时钟同步。

- 更加高效的资源分配机制以及拥塞控制机制。

作为 C-V2X 的核心关键技术，PC5 接口支持调度式的资源分配方式（Mode-3）和终端自主式的资源分配方式（Mode-4）。此外，C-V2X 还支持集中式和分布式相结合的拥塞控制机制，这种机制可以显著提升高密场景下接入系统的用户数。

2) Uu 接口关键技术

为了更好的匹配 V2X 的业务特性，C-V2X 在 Uu 空口上主要对以下方面进行了功能增强：

- 上下行传输增强。

上行传输支持基于业务特性的多路半静态调度,在保证业务传输高可靠性的需求的前提下可大幅缩减上行调度时延。下行传输针对 V2X 业务的局部通信特性,支持小范围的广播,支持低延时的单小区点到多点传输 (SC-PTM) 和多播/组播单频网络 (MBSFN)。此外, LTE-V2X 支持核心网元本地化部署,并且针对 V2X 业务特性定义了专用服务质量 (QoS) 参数来保证业务传输性能。

— 多接入边缘计算研究。

针对具备超低时延超高可靠性传输需求的车联网业务(如自动驾驶、实时高清图下载等), C-V2X 可以采用多接入边缘计算 (MEC) 技术。目前,标准组织 ETSI 和 3GPP 都将其作为重点项目,针对 MEC 整体框架、用户面选择、业务分流、移动性和业务连续性以及网络能力开放等关键方面进行研究。

2.1.2. 政策法规和标准化

1) C-V2X 相关政策法规

2016 年 11 月,工信部无线电管理委员会批复 5905-5925 MHz 总共 20MHz 用于 LTE-V 直连技术试验验证。批复明确指出,这 20MHz 频谱作为试验频谱仅用于 LTE V2X 直连技术的试验验证,其中包括功能性测试和不同无线电应用间兼容性试验研究。

2018 年 11 月,车联网产业发展专项委员会第二次会议在雄安召开,会议指出要强化产业链协同创新,加快基础设施升级改造,把 LTE-V2X、5G 等通信网络部署和智能交通、交通管理信息化协同推进。

2018 年 11 月,工信部发布了《车联网(智能网联汽车)直连通信使用 5905-5925MHz 频段的频率管理规定(暂行)》,确定了基于 LTE-V2X 技术的车联网(智能网联汽车)直连通信的工作频段及使用要求。

2018 年 12 月,工信部发布指导性文件《车联网(智能网联汽车)产业发展行动计划》,分两阶段推动车联网跨行业融合,促进规模化商业应用,实现“人-车-路-云”高度协同。

2019 年 7 月,中国 5G 推进组发布《LTE-V2X 安全技术白皮书》。

2019 年 9 月,中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》,针对 V2X 相关的智慧公路、数字交通建设,政策面给出了更为明确、具体、可行的目标、重点任务和中央财政资金补助安排。

2020年2月，发改委等11个部委联合发布《智能汽车创新发展战略》，提出分阶段、分区域推进道路基础设施的信息化、智能化和标准化建设；结合5G商用网络部署，推动其与车联网协同建设。

2020年3月，工业和信息化部发布《关于推动5G加快发展的通知》，提出促进“5G+车联网”协同发展，推动车联网无线通信技术标准的研制及研发验证。

2020年5月，工信部发布《2020年工业通信业标准化工作要点》，明确指出以专项方式推进5G网络与应用以及车联网（智能网联汽车）等重点领域标准制定，成体系地推进行业标准制定工作，促进产业基础能力和产业链现代化水平提升。

2021年2月，党中央、交通部发布《国家综合立体交通网规划纲要》，提出加强智能化载运工具和关键专用装备研发，推进智能网联汽车（智能汽车、自动驾驶、车路协同）、智能化通用航空器应用。

2021年3月，发改委、工信部等28个部门联合发布《加快培育新型消费实施方案》，提出开展车联网电信业务商用试验，加快全国优势地区车联网先导区建设，探索车联网（智能网联汽车）产业发展和规模部署。

2021年7月，工信部等5部委联合发布《5G应用“扬帆”行动计划（2021-2023年）》，提出强化汽车、通信、交通等行业的协同，加强政府、行业组织和企业间联系，共同建立完备的5G与车联网测试评估体系，保障应用的端到端互联互通。提炼可规模化推广、具备商业化闭环的典型应用场景，提升用户接受程度。加快提升C-V2X通信模块的车载渗透率和路侧部署。加快探索商业模式和应用场景，支持创建国家级车联网先导区，推动车联网基础设施与5G网络协同规划建设，选择重点城市典型区域、合适路段以及高速公路重点路段等，加快5G+车联网部署，推广C-V2X技术在园区、机场、港区、矿山等区域的创新应用。建立跨行业、跨区域互信互认的车联网安全通信体系。

2) 国际C-V2X标准化发展介绍

作为LTE平台向垂直行业新业务的延伸，3GPP为车辆通信的增强进行了标准研究和开发。当前，C-V2X的标准化可以分为3个阶段：

支持LTE-V2X的3GPP R14版本标准已于2017年正式发布；支持LTE-V2X增强（LTE-eV2X）的3GPP R15版本标准于2018年6月正式完成；支持5G-V2X

的 3GPP R16+版本标准宣布于 2018 年 6 月启动研究，将与 LTE-V2X/LTE-eV2X 形成互补关系。

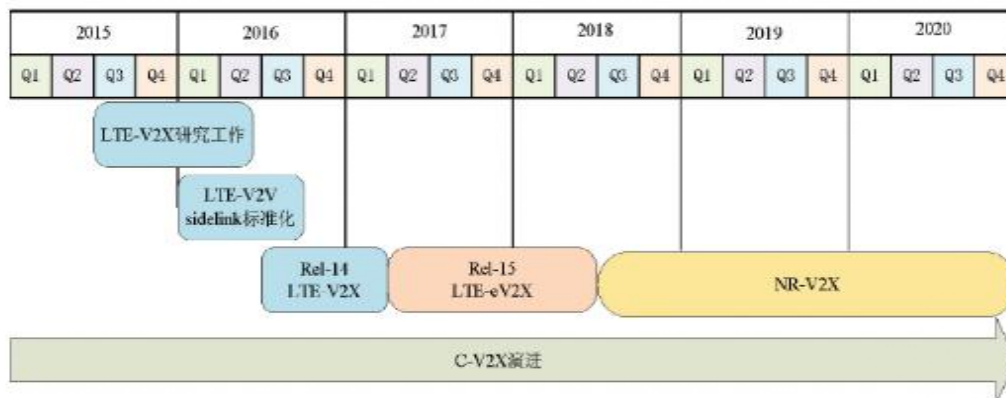


图 2: 3GPP C-V2X 标准研究进展

a) LTE-V2X 标准进展

目前，3GPP 已经完成 R14 版本 LTE-V2X 相关标准化工作，主要包括业务需求、系统架构、空口技术和安全研究四个方面。

业务需求方面，目前已经定义了包含车与车、车与路、车与人以及车与云平台的 27 个用例和 LTE-V2X 支持的业务要求，并给出了 7 种典型场景的性能要求。系统架构方面，目前已经确定了在 PC5 接口的 Prose 和 Uu 接口的 LTE 蜂窝通信的架构基础上增强支持 V2X 业务，并明确增强架构至少要支持采用 PC5 传输的 V2X 业务和采用 LTE-Uu 的 V2X 业务。空口技术方面，目前已经明确了 PC5 接口的信道结构、同步过程、资源分配、同载波和相邻载波间的 PC5 和 Uu 接口共存、无线资源控制（RRC）信令和相关的射频指标及性能要求等，并且研究了如何通过增强 Uu 传输与 PC5 传输来支持基于 LTE 的 V2X 业务。安全方面，目前已经完成了支持 V2X 业务的 LTE 架构增强的安全方面研究。

b) LTE-eV2X 标准进展

LTE-eV2X 是指支持 V2X 高级业务场景的增强型技术研究阶段（R15）。目标在保持与 R14 后向兼容性要求下，进一步提升 V2X 直通模式的可靠性、数据速率和时延性能，以部分满足 V2X 高级业务需求。

标准 TS22.886 中已经定义了 25 个用例共计 5 大类增强的 V2X 业务需求，包括基本需求、车辆编队行驶、半/全自动驾驶、传感器信息交互和远程驾驶。目前正在进行的“3GPP V2X 第二阶段标准研究”主要包括了载波聚合、发送分集、高阶调制、资源池共享及减少时延、缩短传输间隔（TTI）的可行性及增益等增

强技术。

c) 5G-V2X 标准进展

该阶段是指基于 5G NR 的技术研究阶段 (R16+)，用于支持 V2X 的高级业务场景。5G-V2X 与 LTE-V2X 在业务能力上体现差异化，在 5G-V2X 支持更先进业务能力同时，也结合 LTE 能力，考虑对 LTE-V2X 增强。目前 3GPP 已立项仿真方法研究的研究课题 (RP-170837)，该立项根据 TR22.886 制定的需求完成 TR38.913 和 TR38.802 中仿真方法的制定，包括仿真场景、性能指标和业务模型。其中包括 6GHz 以上 sidelink 的信道模型研究。

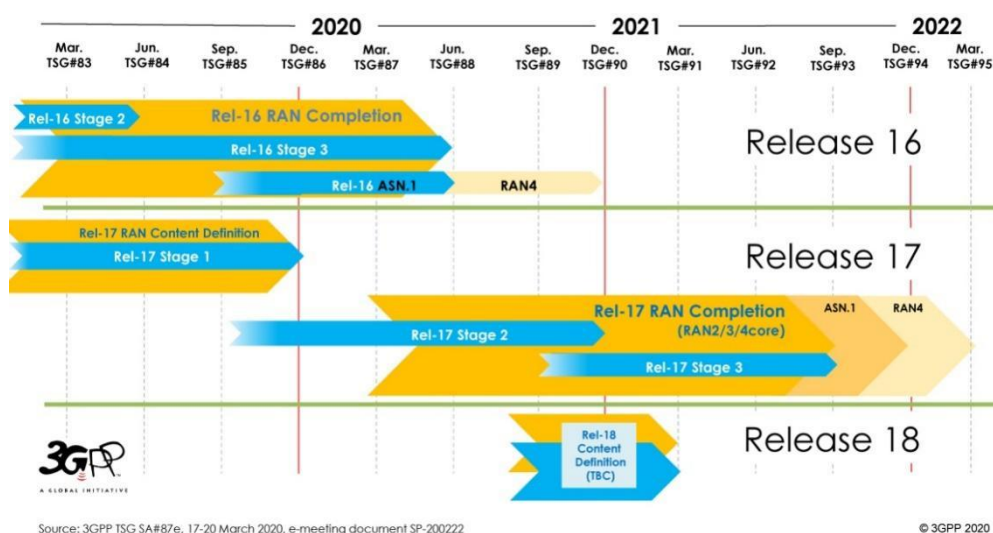


图 3：3GPP R16+标准研究计划

3) 国内 C-V2X 标准化发展介绍

早在 2012-2013 年期间，大唐电信集团提出了 LTE-V 解决方案的概念并在其中积极扮演着推手的作用。华为、乐金电子 (LGE) 与大唐电信集团并共同主导了 3GPP 研究，中国通信标准化协会已经在中国针对 LTE V2X 推出了工作项目。

2017 年 9 月中旬，中国智能网联汽车产业创新联盟正式发布《合作式智能交通系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准》。该标准属于中国汽车工程学会的团体标准，是国内第一个针对 V2X 应用层的团体标准，为国内各车企及后装 V2X 产品提供了一个独立于底层通信技术的、面向 V2X 应用的数据交换标准及接口，以便在统一的规范下进行 V2X 应用的开发、测试，对 V2X 大规模路试和产业化具有良好的推动效应。

中国 C-V2X 标准化发展国内各行业协会和标准化组织高度重视我国 C-V2X

标准的推进工作，包括中国通信标准化协会（CCSA）、全国智能运输系统标准化技术委员会（TC/ITS）、中国智能交通产业联盟（C-ITS）、车载信息服务产业应用联盟（TIAA）、中国汽车工程学会(SAE-China)及中国智能网联汽车产业创新联盟(CAICV)等都已积极开展 C-V2X 相关研究及标准化工作。初步形成了覆盖 C-V2X 标准协议栈各层次、各层面的标准体系，如图所示。

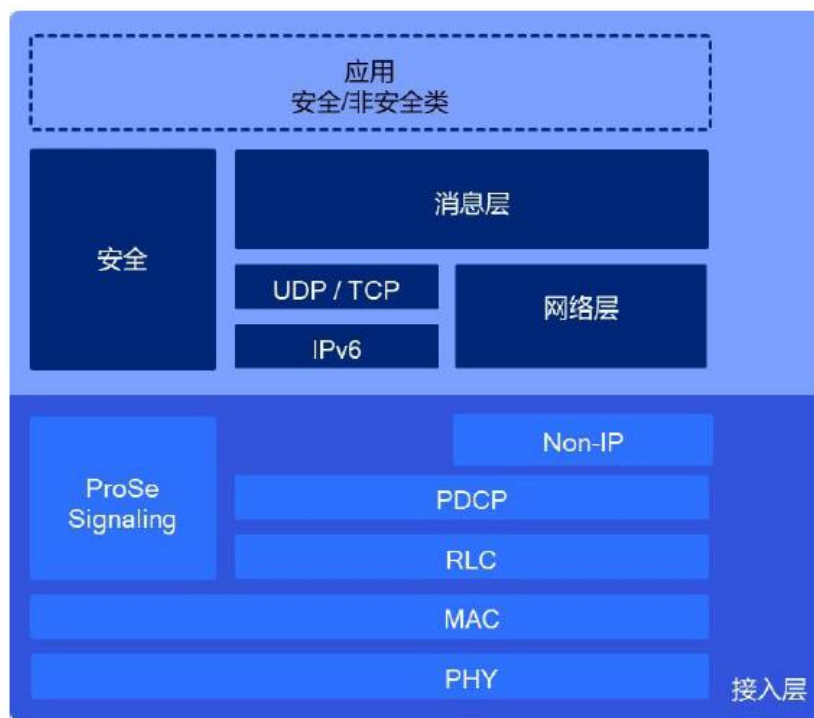


图 4: 中国 C-V2X 标准体系

国内各标准组织的相关标准化工作已支持形成我国 C-V2X 标准体系，包括应用定义及需求、总体技术要求、关键技术、信息安全等多方面。但是，大部分标准是分散在不同的团体组织或行业标准化委员会内来开展研究制定，仍然需要相互之间的统筹协调，加快推进形成体系完整的统一国家标准。

表 1 C-V2X 标准梳理清

标准分类	标准名称	标准号	标准等级
接入层协议	基于 LTE 网络的车联无线通信系统总体技术要求	YD/T 3400-2018	行标/国标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术空中接口要求	YD/T 3340-2018	行标/国标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 网络层技术要求	YD/T 3707-2020	行标

	基于 LTE 的车联网无线通信技术 网络层测试方法	YD/T 3708-2020	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 消息层技术要求	YD/T 3709-2020	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 消息层测试方法	YD/T 3710-2020	行标
应用层	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（一阶段）	T/ITS 0058—2017	团标
	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（二阶段）	T/ITS 0118-2020	团标
安全标准	基于 LTE 的车联网通信 安全技术要求	YD/T 3594-2019	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 安全证书管理系统技术要求	20213189-T-339	行标
技术要求规范	基于 LTE 的车联网无线通信技术 终端设备技术要求	YDT 3756-2020	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 终端设备测试方法	YD/T 3848-2021	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 路侧设备技术要求	YD/T 3755-2020	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 路侧设备测试方法	YD/T 3847-2021	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 基站设备技术要求	YD/T 3592-2019	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 基站设备测试方法	YD/T 3629-2020	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 核心网设备技术要求	YD/T 3593-2019	行标
	基于 LTE 的车联网无线通信技术 直接通信系统技术要求	T/ITS 0110-2020	团标

2.1.3. 商业化/产业化应用

1) C-V2X 应用场景

基于 C-V2X 的应用场景可划分为三大类：交通安全类、交通效率类、和信息服务类。

交通安全类：前向碰撞预警、交叉路口碰撞警告、异常车辆提醒、道路危险状况提示、行人横穿预警等；

交通效率类：限速提醒、车速引导、电子不停车收费、紧急车辆提醒等；

信息服务类：兴趣点提醒、自动停车引导及控制、车辆远程诊断、按需保险业务等；

C-V2X 的基础业务场景与增强业务场景：

基础业务场景下，大部分应用的实现都基于车辆、道路设施等参与者之间的实时状态共享。在利用 C-V2X 信息交互实现状态共享的基础上，再自主进行决策或辅助。主要包括：前向碰撞预警、交叉路口碰撞预警、左转辅助、盲区预警等 17 个场景。

在增强业务场景下，信息细粒度与实时交互都有了飞跃进步，其次车路的协同控制也成为了可能。在保证驾驶安全的基础上，效率出行的业务将逐渐增加，并且两个业务会更加精细化；信息服务业务则继续作为其他业务的载体与其他业务互相融合，协同支持各种增强的车联网业务。

2) C-V2X 应用情况

a) 产业链组成

C-V2X 产业链从狭义上来说主要包括通信芯片、通信模组、终端与设备、整车制造、解决方案、测试验证以及运营与服务等环节，这其中包括了芯片厂商、设备厂商、主机厂、方案商、电信运营商等众多参与方。此外，若考虑到完整的 C-V2X 应用实现，还需要若干产业支撑环节，主要包括科研院所、标准组织、投资机构以及关联的技术与产业。



图 5：C-V2X 产业链

b) 产业发展现状

在通信芯片研制方面，国内芯片企业目前主要包括大唐、华为。大唐电信已发布 PC5 Mode 4 模式的 LTE-V2X 测试芯片模组；华为也已发布了支持包括 LTE-V2X 在内的多模 4.5G LTE 调制解调芯片 Balong 765。国际芯片企业包括高通、英特尔、三星也发布了各自的芯片提供计划。其中高通预计将于 2018 年下半年商用出样 9150 C-V2X 芯片组，该芯片支持 C-V2X 直接通信、GNSS，支持无

SIM卡运行，工作于 ITS 5.9GHz 频段。

在通信模组方面，大唐、华为等芯片企业都将提供基于各自芯片的通信模组；国内通信厂商中兴通讯也计划于 2018 年发布基于高通芯片的 LTE-V2X 测试模组；上海移远通信也发布了与高通的合作计划，计划推出基于高通 9150 芯片的通信模组。



图 6: C-V2X 产业地图

在终端与设备方面，当前国内企业包括大唐、华为、东软、星云互联、千方科技、车网互联、万集科技等均可提供支持 LTE-V2X 的 OBU 和 RSU 通信终端产品；东软提供包括硬件开发套件、面向量产 V2X-ECU、网络协议栈、SDK、应用示例；千方科技提供感知与控制交通设施数据的路侧协同控制机、管理服务云平台。而在通信基站方面，华为已推出测试用 LTE-V2X 基站，2018 年还将提供完整的核心网设备升级方案。中兴将于 2018 年提供测试用 LTE-V2X 基站。上海诺基亚贝尔也将提供 LTE+MEC 的基站产品，支持 V2I 类应用。

各整车厂均积极进行典型 LTE-V2X 应用的开发。中国一汽、奥迪、上汽、江淮汽车、众泰汽车、长城汽车等实现了 LTE-V2V、V2I、V2P 应用。奥迪将向中国市场推出配备 5G 模块和 C-V2X 功能的奥迪 A7L 和奥迪 A6L，并将在未来把相关硬件及功能推广于更多量产车型上。其中，新引入的三个 V2X 功能包括：奥迪交通信号灯信息系统 TLI、奥迪危险信息提示 LHI，以及危险信息警告 LHW 功能。同时，奥迪中国实现了全球首次在公开道路融合 V2X 信号的 L4 自动驾驶演示，代表了自动驾驶领域的重大突破。V2X 实现的功能包括：感知驾驶员视线外的行人

及车型并自动减速、为紧急车辆自动变道让行，以及动态 V2I 交通信号灯功能等等。

众泰新能源汽车正在建设融合了 LTEV2X 应用和 ADAS 技术的小镇无人驾驶解决方案；江淮汽车还搭建了车联网大数据分析平台，实时采集 V2X 数据，为智能辅助驾驶提供决策支持；深圳元征科技可以提供安全应用和后台服务应用的整体解决方案。

在运营与服务方面，国内三大电信运营商均大力推进 C-V2X 业务验证示范。中国移动实现了基于 LTE-V2X 的车车联网和车路协同应用，包括紧急刹车、超车告警、路口防碰撞、红绿灯车速引导、路口信息推送到车等；中国联通展示了多场景融合的蜂窝车联网(C-V2X)应用解决方案，包括面向驾驶安全的 See through、车-人防碰撞、车-车防碰撞预警，面向交通效率的绿波带通行、自适应车队等业务；中国电信则重点开发了公交优先应用及停车导引应用。在测试验证方面，中国信通院具备完备的无线通信测试验证环境，已支持开展 C-V2X 终端设备的功能、性能和协议一致性测试。上海无线通信研究中心研发并提供基于 C-V2X 的 SDR 仿真验证算法；罗德与施瓦茨公司已经推出并展出满足 3GPP R14 标准的 LTE-V2X 终端测试综测仪，提供 GNSS 信号和 LTE-V2X 无线链接下的数据收发测试，并计划将要推出认证级的 LTE-V2X 终端协议一致性和射频一致性测试方案；中国汽研可提供城市场景测试环境和开放道路场景测试环境设计、C-V2X 应用功能测试规范设计，后续还将推出 C-V2X 开放道路测试规范、C-V2X 平行仿真测试系统，并研究 C-V2X 大规模试验的技术方法和数据规范；中汽研汽车检验中心（天津）有限公司可以提供研发验证及测试评价服务，并支持整车环境下车载终端在蜂窝移动通信频段、全球卫星导航频段和车间通信频段的测试检测。

C-V2X 产业链主要了包括上述的环节，但是产业发展都离不开一些基础环节的支撑以及一些关联技术和产业的发展。第一，在基础研究领域，高校及科研机构发挥着重要的作用。第二，在标准及行业组织方面，国内众多行业组织都已积极开展 C-V2X 相关标准化和行业协同推广工作。第三，在关联技术与产业方面，以与 C-V2X 关联最紧密的高精度定位和地图服务为例，中国自主研发的北斗定位导航系统也取得了长足的发展，包括和芯星通、华大北斗等国内厂商纷纷推出了自主设计的北斗定位芯片，千寻位置网络有限公司推出了基于北斗卫星和国家北

斗地基增强系统；在高精度地图服务方面，国内主要地图商如高德、百度、四维图新等均致力于高精度地图的采集与制作，并为行业提供高精度地图服务。

c) 国家级应用测试基地/试点示范区

2018年以来，发改委、工业和信息化部、国家标准委、公安部、交通运输部等陆续发布相关政策，推进智能网联(车联网)示范区道路测试工作。2018年4月，工业和信息化部、公安部、交通运输部联合印发了《智能网联汽车道路测试管理规范(试行)》，对测试主体、测试驾驶人及测试车辆，测试申请及审核，测试管理，交通违法和事故处理等进行了明确规定。2018年5月，交通运输部印发了《自动驾驶封闭测试场地建设技术指南(暂行)》[交办科技[2018]59号]，规定了自动驾驶封闭测试场的场地、通信、供电等其他要求。

地方上，目前国内多个省/市先后出台智能网联汽车行业发展相关政策，针对发展方向及重点任务、配套措施等方面出台具体的举措，促进汽车企业积极进行智能网联汽车测试基地的建设及运营，助力区域智能网联汽车测试示范与应用服务快速发展。

据不完全统计，截至目前，我国已至少拥有50个智能网联汽车测试示范区。其中，京-冀、上海、长春、重庆、长沙、武汉、无锡和杭州等示范区是由工信部、交通部、公安部等部委支持的智能汽车示范区，不同的示范区/测试场示范侧重点各有不同。除此之外，另外还有超过30个城市级及企业级测试示范点，初步形成封闭测试区、半开放道路和开放道路组成的智能网联汽车外场测试验证体系。

表2 国内主要智能网联汽车测试示范区

地区	智能网联示范区
吉林、辽宁	国家智能网联汽车应用(北方)示范区(长春)(工信部) 辽宁盘锦北汽无人驾驶体验项目
京冀	国家智能汽车与智慧交通(京冀)示范区(工信部) 房山区5G自动驾驶示范区
上海	国家智能网联汽车(上海)试点示范区(嘉定)(工信部) 智能网联汽车自动驾驶封闭场地测试基地(临港)(工信+交通部) 同济大学智能网联汽车测试评价基地

江苏	国家智能交通综合测试基地（无锡）（工信+公安） 智能网联汽车自动驾驶封闭场地测试基地（泰兴）（工信+交通部） 中国智能车综合技术研发与测试中心（常熟） 中汽中心盐城汽车试验场（盐城）
浙江	浙江 5G 车联网应用示范区（杭州云栖小镇 LTE-V 车联网示范区+桐乡乌镇示范区） 国家智能网联汽车（浙江嘉善）示范区
福建	平潭无人驾驶汽车测试基地 漳州无人驾驶汽车社会实验室（厦门）
广东	广州智联汽车与智慧交通应用示范区（工信部） 深圳无人驾驶示范区
四川	德阳 Dicity 智能网联汽车测试与示范运营基地 成都中德智能网联汽车四川实验基地
重庆	重庆智能汽车与智慧交通应用示范区（工信部） 重庆中国汽研智能网联汽车试验基地（交通部）
湖南	国家智能网联汽车（长沙）测试区： 湘江新区智能系统测试区
湖北	武汉智能网联汽车示范区（工信） 智能网联汽车自动驾驶封闭场地测试基地（襄阳）（工信+交通部）

目前，国内智能网联汽车示范区建设运营主要以京津冀、长三角、珠三角地区为核心，其中比较典型的分布是国家智能网联汽车（上海）试点示范区和国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区。

一 国家智能网联汽车（上海）试点示范区

截止 2020 年底，上海累计开放 243 条 559.87 公里测试道路，测试道路里程数位居全国前列。包括：嘉定区 315.0 公里、临港新片区 118.2 公里（含东海大桥 34.0 公里）、奉贤区 97.37 公里、浦东金桥区域 29.3 公里。实现低风险、一般风险、较高风险和高风险四类复杂度测试道路全覆盖：I 类低风险道路 80 条，193.42 公里；II 类一般风险道路 53 条，131.75 公里；III 类较高风险道路 68 条，154.2 公里；IV 类高风险道路 42 条，80.5 公里。涵盖城市主干道、城市

次干道和支路、产业园区道路、城市商圈、高校、港口码头、交通枢纽、特定高速公路等多类应用场景，由点到线形成片状测试区域，提供可测场景超过 5000 个。

截止 2020 年底，上海累计向 22 家企业（上汽红岩、蔚来、宝马、图森未来、华为、仙途智能、上汽大众、滴滴、深兰科技、中智行、百度、AutoX、丰田汽车、阿利昂斯、商汤、吉利、上汽大通、初速度、上汽通用、通用中国、中车时代）、152 辆车颁发道路测试和示范应用资质，企业数量和牌照数量均位居全国首位，涉及乘用车、商用车、专项作业车等车型。

上海在全国范围内率先开展载人载物示范应用，推动了一批具有重要影响力的示范应用项目，形成了临港新片区洋山港智能重卡载物示范、嘉定地区乘用车载人示范、奉贤地区特种车辆作业测试的联动发展格局，整体发展水平全国领先。洋山港智能重卡 2020 年自动驾驶测试里程已超 18 万公里，完成 2.12 万 TEU 运输量，实现了规模化的示范运营目标。2019 年 9 月 16 日世界智能网联汽车大会，上海向上汽、宝马、滴滴三家企业颁发全国首批智能网联汽车示范应用牌照，在全国率先启动载人示范应用。2020 年 6 月，滴滴沃芽在嘉定区正式开展智能网联汽车规模化载人示范应用。2020 年 8 月 16 日，AutoX（裹动科技）也在嘉定区投放 5 辆智能网联汽车开展载人示范应用活动。

车路协同方面，上海在临港新片区，建设了环湖一路 8.6 公里长的智能测试道路，完成了路端系统的智能化升级改造，实现了自动驾驶+车路协同的深度应用，并在“深水港物流园区-东海大桥-洋山港区”之间建成初具规模的车路协同技术环境，助力上汽红岩智能重卡开展示范运营。在嘉定安亭 53.6 公里的开放测试道路上实现“5G 通信+高精度地图”的全覆盖，同步建设 V2X 车路协同应用系统、全息道路感知系统、安全监管监控平台、路侧智能终端等一批服务于智能交通的基础设施。在奉贤新城 32.6 平方公里测试区内建设了基于智慧全出行链“最后一公里”的特定场景，既支持单车智能、也支持车路协同；既支持单一道路、也注重区域覆盖。

— 国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区

北京已累计在 4 区开放自动驾驶测试道路共计 200 条、699.58 公里，包括北京经济技术开发区 111 条路、322.46 公里，顺义区 26 条路、143.82 公里，海

淀区 26 条路、215.32 公里以及房山区 11 条路、18 公里。开放了北京经济技术开发区和海淀 2 个自动驾驶测试区域，面积约 140 平方公里，自动驾驶测试道路覆盖范围全国领先。

北京市累计为 14 家自动驾驶企业 87 辆车发放一般性道路测试牌照，自 2018 年起，北京市自动驾驶车辆道路测试安全行驶里程累计已超过 221.34 万公里，平均每月测试里程 9.8 万公里，道路测试总里程全国领先，测试过程安全可控，未对其他交通参与者产生不良影响。

2020 年，在行业最前沿和关键的自动驾驶载人运营测试和无人化技术研发领域，百度共有 43 辆车获批允许开展载人第三阶段测试（即能够向社会招募志愿者。如果征得载人测试志愿者书面同意可以不配备测试工程师，但同时必须配备测试驾驶员，也就是安全员）。百度的 5 辆车获批开展无人化第一阶段测试。值得注意的是，百度获得的由北京市自动驾驶测试管理联席工作小组颁发的首批 5 张无人化路测（第一阶段）通知书，是北京市第一次允许测试主体在公开道路进行无人化自动驾驶测试。另外，小马智行的 5 辆车获批允许开展载人第一阶段测试。这一阶段要求测试主体必须配备测试驾驶员（即安全员）和工程师，载人的对象仅限于招募与测试主体签订了劳动或者劳务合同的人员，也就是内部员工。

车路协同方面，国内首个车联网（智能网联汽车）和自动驾驶地图应用试点落户国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区亦庄基地与北京经济技术开发区。北京经济技术开发区区域内开放了全国首个 40 平方公里的测试区域，为测试主体开展 ROBOTAXI、接驳、分时租赁、编队行驶等商业模式探索提供测试环境。另外，北京智能车联产业创新中心进行整体规划，完成了 40 公里道路的 V2X 设备全域覆盖，可以满足自动驾驶车辆的 V2V、V2I、V2P 车路协同测试。

2.2. 基于 ETC 车路协同

2.2.1. 技术化发展现状

我国电子不停车收费系统（ETC）经过 20 多年的快速发展，从设施建设进程来看，目前全国拥有 2.66 万套 ETC 门架系统，6.8 万条 ETC 车道（含混合车道）。从用户规模和交易量来看，目前全国 ETC 用户达 2.26 亿，全网日均超过 3000 万的交易额。

ETC 在我国起步相对较晚，但发展速度快。1996 年 10 月，交通运输部公路

科学研究院团队与日本相关部门就不停车收费系统举行交流会；2004年，广东高速 ETC 收费系统率先投入使用，实现省内不停车联网收费。2007年初，交通部下发《关于开展京津冀和长三角区域高速公路联网不停车收费示范工程建设的通知》，指出在京津冀和长三角4省市试点区域联网不停车收费示范工程建设。2008年12月31日，长三角高速公路电子不停车收费系统正式试运行，上海市、江苏省成为首个实现 ETC 联网运营的地区。到2015年，全国29个省市实现 ETC 联网运行，高速公路 ETC 收费基本全覆盖。

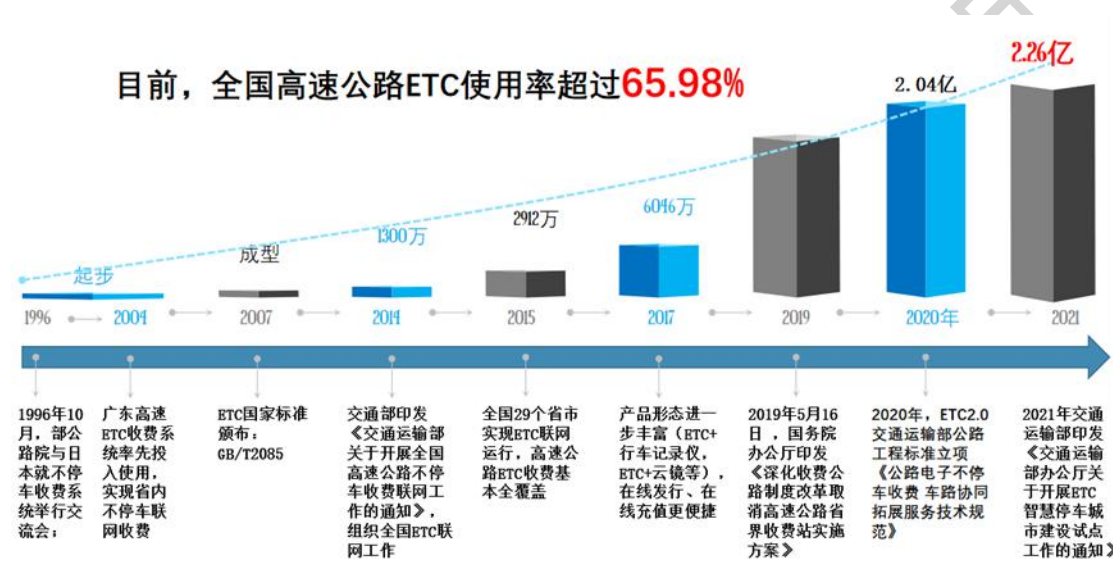


图 7：中国 ETC 发展历程

ETC 的底层通信技术（5.8G DRSC）目前已经拥有广泛的用户和基础设施条件，可作为车路协同路侧传输通道（本地直连通信）的网络。ETC 的底层技术是一种低数据速率、低功耗的通信技术（512 kbit/s），ETC 网络已经在全国铺开，其稳定性、安全性、准确性都已得到充分验证（网络基础）。

ETC 天线广播数据帧最大容量为 128 字节，ETC 交易信息使用不足 30 字节，剩余近 100 字节空间；高速公路环境车速 120 km/h 的情况下，ETC 车辆经过 50 m 交易区域的时间约为 1.5 s，典型交易时间约为 300ms，常见的信息交互耗时约 60 ms-80ms。存在空间与时间容量用于拓展应用信息服务。

前装 ETC 的推行，为 ETC 与车机联动，实现信息播报提供了基础；ETC+DVR 等多形态 OBU 的发行，也为 ETC 后装产品提供了信息播报的可能。这些增值服务将推动 ETC 进入 ETC 车路协同时代。

基于 ETC 可以进一步拓展车路协同的诸多功能，实现 ETC2.0。

ETC2.0 主要是通过 DSRC 来实现高容量双向通信的路车协同系统。相对于单纯用于收费的 ETC 系统，ETC2.0 还能给车辆提供实时交通信息，同时还可以收集车辆的行驶信息。ETC2.0 需要进行实时预警或服务消息的推送，如面向安全类车路协同应用的路侧预警消息发布。因此，系统架构中除了传统 ETC RSU（支持 ETC2.0）之外，还可能需要包括如路侧感知、MEC 等子系统。

ETC2.0 系统各子系统介绍如下：

a) 路侧感知子系统：检测交通流状况及异常交通事件，如车辆逆行、行人闯入机动车道、违法停车、交通拥堵、交通事故、危险气象状况（横风、团雾、暴雨）、道路施工等，可使用多种传感器如摄像头、雷达、气象传感器等；

b) MEC：边缘计算大脑，处理传感器收集的数据，形成实时决策；也可接收云平台下发的数据，进行综合逻辑判断；

c) RSU：这里是指 ETC 天线，可支持 ETC2.0 应用场景；

d) OBU：这里是指智能 OBU，可支持 ETC2.0 应用场景；

e) 云平台：大数据汇集中心，可实现交通数据汇集及分析。支持设备状态管理、交通事件管理、大数据分析、交通调度信息发布等。可以基于现有的交通云控平台建设。

注：ETC 通信特点是能实现断面覆盖。由于交通流具有方向性，因此只要保证车辆以一定速度经过 RSU 所在断面时，能接收到 RSU 发送的消息即可实现信息传递。

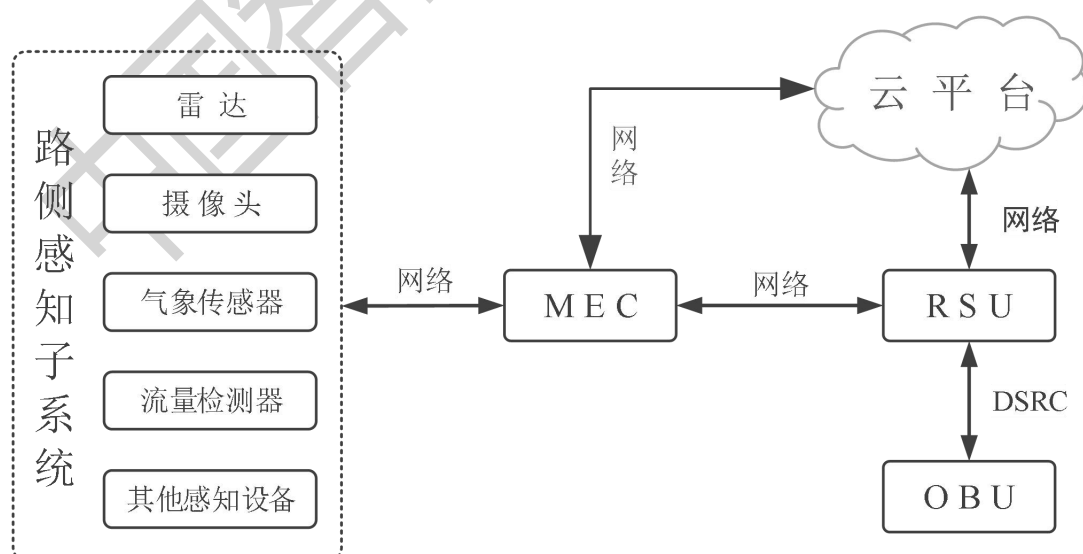


图 8：ETC2.0 总体架构

2.2.2. 政策法规和标准化

1) ETC 车路协同相关政策法规

2007年5月起，ETC国家标准：GB/T 20851-2007《电子收费专用短程通信》正式颁布实施，为各省市进行ETC系统的研究、实施和运营指明了技术方向和建设依据。

2007年，原交通部组织开展了京津冀和长三角区域高速公路电子不停车收费（简称ETC）示范工程，并于2010年顺利完成。在示范工程的引领下，ETC技术在全国各地得到了广泛应用，社会效益和经济效益初步显现。

2014年3月，为充分发挥ETC的规模效益，交通运输部印发《交通运输部关于开展全国高速公路不停车收费联网工作的通知》，组织开展全国ETC联网工作。

2019年5月，国务院办公厅印发《深化收费公路制度改革取消高速公路省界收费站实施方案》，进一步深化收费公路制度改革，加快取消全国高速公路省界收费站，实现不停车快捷收费，力争2019年底前基本取消全国高速公路省界收费站。

2019年6月，发改委与交通运输部联合印发《加快推进高速公路电子不停车快捷收费应用服务实施方案》，为贯彻落实党中央、国务院关于深化收费公路制度改革取消高速公路省界收费站的决策部署，实现高速公路不停车快捷收费，减少拥堵、便利群众。

从2020年1月1日零时起，全国29个联网省份的487个省界收费站全部取消。

2020年2月，工信部装备工业发展中心发布关于调整《道路机动车辆产品准入审查要求》中明确指出，自2020年7月1日起，新申请产品准入的车型应在选装配置中增加ETC车载装置。

2) ETC 车路协同标准化发展

当前，国内ETC2.0的车路协同相关标准主要是由智能交通产业联盟组织发起，交通运输部公路科学研究院、北京中交国通智能交通系统技术公司、深圳市金溢科技股份有限公司、北京万集科技股份有限公司、深圳成谷科技有限公司、广州市埃特斯通讯设备有限公司、广州铭创通讯科技有限公司、北京聚利科技有

限公司等国内主流 ETC 厂商和上下游产业联合参与制定的团体标准《基于 ETC 专用短程通信的车路协同》（系列标准）。该系列标准共分为 3 部分：《基于 ETC 专用短程通信的车路协同 第 1 部分：应用集及应用数据交互需求》（T/ITS 0136.1-2020，已发布）《基于 ETC 专用短程通信的车路协同 第 2 部分：应用层数据交互格式》（T/ITS 0136.1-2020，已发布）《基于 ETC 专用短程通信的车路协同 第 3 部分：技术要求》（在研）。同时，该标准已转化为交通运输部公路工程标准——《公路电子不停车收费 车路协同拓展服务技术规范》（已立项）。

在系统构成上，ETC 车路协同可实现实时预警或服务消息的推送，如面向安全类车路协同应用的路侧预警消息发布。因此，系统架构中除了传统 ETC RSU（支持 ETC 车路协同）之外，还可能需要包括如路侧感知、MEC 边缘计算等子系统。

通信方式上，《基于 ETC 专用短程通信的车路协同》标准对应的消息交互可采用广播类通信方式，即消息的发送采用的是广播机制，无特定的接收对象；也可以采用专用链路，后者具有更好的安全性，但交互效率略低。

通信协议栈上，ETC 专用短程通信协议栈，主要由物理层、数据链路层和应用层组成。面向车路协同的拓展应用消息定义在应用层 SDU（服务数据单元）中，不对数据链路层和物理层做任何调整。

2.2.3. 商业化/产业化应用

1) ETC 车路协同应用场景

ETC 车路协同应用场景涵盖安全、效率、信息服务三大类别，十一个典型车-路（I2V）应用场景。

表 3 ETC 车路协同应用场景

序号	类别	应用名称
1	安全类	弱势交通参与者碰撞预警
2		恶劣交通环境感知预警
3		前方事故预警
4		匝道分合流预警
5	效率类	前方拥堵提醒
6		特殊车辆提醒及优先通行

7	信息服务类	红绿灯信息播报
8		车辆调度与管理
9		车内标牌
10		收费路段提醒
11		智慧场站指引

2) ETC 车路协同应用情况

从设施建设进程来看，目前全国拥有 2.66 万套 ETC 门架系统，6.8 万条 ETC 车道（含混合车道）。从用户规模和交易量来看，目前全国 ETC 用户达 2.26 亿，全网日均超过 3000 万的交易额。如何保障交易安全性、实时性、完整性、准确性，后续也需要对收费系统持续升级。从支付这一高价值应用场景，到作为电子标识进入车辆管控场景，再延伸到集感知、服务、管控为一体的路车通讯，基于这三个核心功能，ETC 的应用场景将不断扩展，持续赋能行业全面发展。

在 ETC 车路协同技术的应用上，最具代表性的企业是来自深圳的金溢科技，其研发的 ETC-X 系统，即是以已有的 ETC 网络和门架系统为基础，通过适度的技术升级，以最小代价和最快速度实现对于安全和效率至关重要的 I2V 车路协同应用。目前金溢科技的智慧停车场管理系统已在江苏、广东的多个城市智慧交通项目中推广应用。此外，ETC 还可以在加油、洗车、养护、维修等汽车后市场发挥作用。

3. 车路协同技术发展路径分析

车路协同是智慧交通系统发展的最新方向，是采用先进的无线通信和新一代互联网等技术，全方位实施车-车（V2V）、车-路（V2I）、车-网（V2N）、车-人（V2P）等动态实时信息交互，并在全时空动态交通信息采集与融合的基础上开展车辆主动安全控制和道路协同管理，充分实现人车路的有效协同。上述四种车辆通信的情况：V2X、V2I、V2N、V2P，可统称为 V2X，即 Vehicle to Everything，意为车与外界信息的交换。

2020 年 2 月 24 日，国家发改委、工信部、科技部等 11 个部委联合发布的《智能汽车创新发展战略》提出，到 2025 年，智能交通系统和智慧城市相关设施建设取得积极进展，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。2020 年 3 月 10

日工信部公示了《汽车驾驶自动化分级》推荐性国家标准报批稿，2020年3月12日，国家发改委、工信部下发《关于组织实施2020年新型基础设施建设工程（宽带网络和5G领域）的通知》，将基于5G的车路协同车联网大规模验证与应用列为7大5G新型基础设施建设工程之一，明确C-V2X车路协同为新基建的实施内容。而ETC在其中就起到了桥梁的作用，ETC一边连接着路，一边连接着车，是V2X的初级应用形态，是交通与汽车智能化融合的起步。

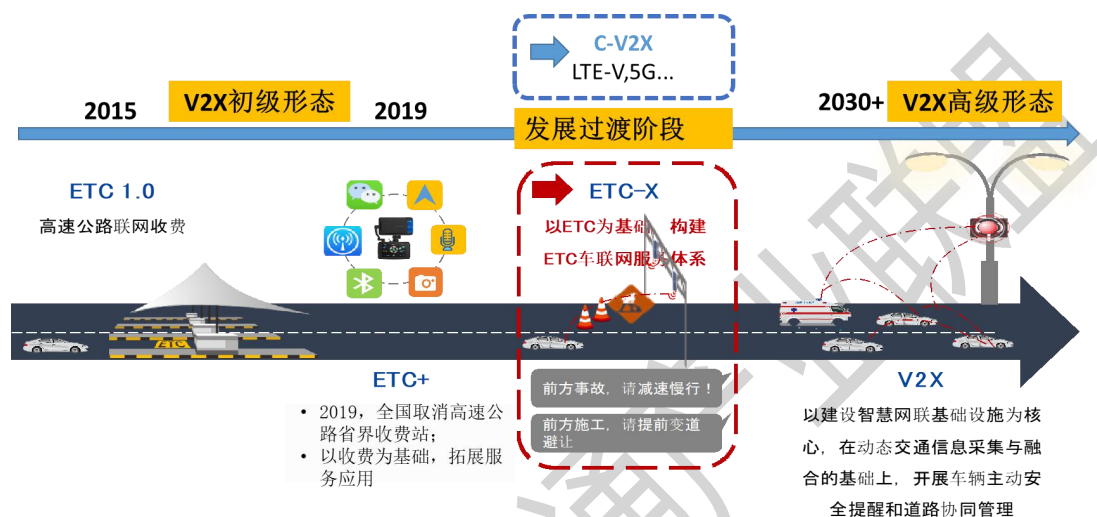


图9：国内车路协同发展路线

收费只是ETC的初级功能，未来ETC将朝着ETC2.0，再到V2X的路径发展。在ETC1.0时代，ETC的功能主要是高速公路收费，随着2016年ETC全国联网工作结束，ETC1.0的时代也走向了尾声，开始向ETC2.0发展。

ETC2.0是以ETC为基础，构建ETC车联网。ETC2.0不仅是一个收费工具，而是ITS（Intelligent Transport System，智慧交通系统）的接入点，这个接入点承载了对基础设施、道路运输及车流的综合感知，感知的内容能传输给交通工具使用者和城市管理者。

C-V2X是现在国内发展的重点，依托于电信技术的快速进步，基于LTE和5G技术的C-V2X也得到了迅猛发展，尤其是在5G-V2X技术上，各级政府部门联合相关科研机构和企业在全国范围内建立了多个技术示范区。C-V2X最典型的物理架构有车，有路端，有云控端。跟5G的核心技术又有强关联的地方，包括5G核心的边缘计算，以及网络技术、无线技术，这对自动驾驶和智慧基础设施的支撑也会影响架构，包括计算会前置，包括无线的技术，提供更好的无线场景的支撑。

基于 5G 的 C-V2X 如果能够解决上车和上路的问题，ETC 的终端可能会面临挑战，但技术的更迭需要考虑转换成本的问题，很大概率是，作为采用 DSRC 技术的 ETC 会与 C-V2X 共存，在后者没有成熟的低成本应用前，ETC 还将是智能交通的主流技术。

从技术上来说，ETC 本身的通信能力比较窄带，但也是一个完整的通信系统，所以整体的架构，包括通信架构上来说，是能够跟 C-V2X 进行很好的融合的。当前可以利用 ETC 比较简单的通信能力，基于升级现有的 ETC 体系来支撑一些基础的应用，而且这个升级需要结合 C-V2X，结合 5G 的发展进行融合，建立一些未来的数字基础设施，和新的应用，让用户开始适应一些新的 C-V2X 的应用，同时将来又能够升级到更高阶的 C-V2X 应用，形成 ETC 和 C-V2X 的融合共生，实现 V2X 的高级形态，以建设智慧网联基础设施为核心，在动态交通信息采集与融合的基础上，开展车辆主动安全提醒和道路协同管理。

4. 产业化路线及推进策略和发展建议

应加速推进 V2X 产业化应用的策略，分层次场景化，分阶段推进 V2X 商用落地。先发展条件已经具备，技术已实现的功能，制定出不同程度道路智能化改造的时间表，完善配套制度，给予奖励补贴等政策措施。

1) 条件已具备的场景先行，基于现有信息率先实现 V2X 应用

关键场景推动路侧升级，带动车端渗透率，显著增强 V2X 应用效益

车端渗透率带动路侧建设，基础设施智能化改造与新建并重

2) 协同构建 C-V2X 技术应用推广的产业发展环境

3) 尽早规划和分配 C-V2X 专用频段

4) 协同开展 LTE-V2X 测试评估体系的建立

5) 建立健全安全保障体系