运营商赋能车联网能力白皮书

中国联通 中国移动研究院 中国电信

2022 年 12 月

目录

摘要.....3

1 概述.....4

1.1 背景简介.....4

1.2 产业发展概况.....4

1.3 车联网发展存在的问题.....7

2 5G+C-V2X 车联网架构.....8

3 运营商赋能车联网.....10

3.1 5G UU+PC5 融合.....10

3.2 MEC.....11

3.3 切片.....13

3.4 QoS.....15

3.5 uRLLC.....16

3.6 算网一体.....19

3.7 安全通信.....20

3.8 认证.....23

4 运营商优势.....26

（1）融合组网、全城全网、全域覆盖.....26

（2）规建维优营能力及经验.....26

（3）数据运营.....26

（4）按需的网络能力灵活调用及性能保障.....27

（5）客户重叠，有一定的客户基础.....27

（6）成本最优.....27

（7）网络安全保障.....27

（8）互联互通和集约化管理.....27

5 运营商车联网创新能力实践.....28

6 总结与展望.....30

✧ 主编.....31

蔡超、周光涛、卓海龙、谭国华、邓辉，陈荆花.....31

✧ 编写组成员.....31

中国联通：邱佳慧、林晓伯、张香云、高沛、夏小涵.....31

中国移动：沈旭 马少飞 郑银香.....31

中国电信：王秋红、周秀杰、段惠斌.....31

摘要

车联网作为跨通信、交通、汽车的新兴产业，是国家的重要发展战略方向，是实现自动驾驶弯道超车的重要保障。在国家政策的大力推动下，在产业需求的引导下，车联网发展从技术验证逐步向规模商用发展，产业链基本成熟，初步具备规模商用的基本条件。

运营商依托 5G、云网融合、云边协同能力，为车联网提供广覆盖、低成本、可快速落地的端到端解决方案。以 5G Uu+C-V2X PC5 融合为基础的“云-管-端”车联网系统架构，可实现环境感知、数据融合计算及决策控制，从而提供安全、高效、便捷的车联网服务。同时，MEC、切片、安全、uRLLC 等网络能力，能够为车联网提供低时延、高可靠、安全灵活的网络环境保障。

运营商将继续以 5G 网络开放为牵引，充分发挥网络优势，结合车联网市场需求，与产业合作伙伴携手共同推动车联网产业的蓬勃发展！

1 概述

1.1 背景简介

在国家政策红利的持续引导下，中国智慧交通进入腾飞期，车联网作为泛在连接场景，是实现智慧交通的重要基础设施和技术路径。

我国车联网以 C-V2X 为主要技术手段，并在 3GPP 主导完成标准化工作。C-V2X 针对车联网低时延、高可靠以及高速移动等特性进行增强，经过国内外多次的测试验证，C-V2X 技术性能优于 DSRC，并逐渐成为国际车联网的主流技术。

C-V2X 车联网包含蜂窝通信（Uu 口）和直连通信（PC5 口）两种方式。在技术演进方面，C-V2X 正逐渐从 LTE-V2X 向 NR-V2X 方向演进；在产业应用方面，国内正积极推动 5G Uu+C-V2X PC5 融合的车联网方案部署应用及商业化模式探索。

1.2 产业发展概况

（1）国内政策导向

国家政策方面，我国政府已经将推动车联网产业发展提升到国家战略高度，国务院、发改委、工信部、交通运输部、科技部等从政策上对车联网产业进行多方面的提升和促进。据统计，从 2015 年至今国家及各部委出台的车联网相关政策将近 30 项。

2022 年 1 月，国务院印发了《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》，提出“推动车联网部署和应用，支持构建‘车-路-交通管理’一体化协作的智能管理系统”；2021 年“十四五规划纲要”中提到“积极稳妥发展工业互联网和车联网”；2021 年 7 月，工信部发布《5G 应用“扬帆”行动计划（2021-2023 年）》，明确了车联网是 5G 行业深度融合应用的重要场景；2021 年 2 月，国务

院颁布《国家综合立体交通网规划纲要》，要求“加强交通基础设施与信息基础设施统筹布局、协同建设，推动车联网部署和应用，强化与新型基础设施建设统筹，加强载运工具、通信、智能交通、交通管理相关标准跨行业协同”；2020年3月，工信部发布《关于推动5G加快发展的通知》，要求“促进‘5G+车联网’协同发展，包括促进LTE-V2X规模部署，探索完善商业模式，加强跨部门协同，开展5G-V2X标准研制及研发验证等”；2020年，国家发改委明确“新基建”包含智能交通基础设施、5G、人工智能、大数据等车联网相关产业。

“十四五规划”、“新基建”等国家政策，以及各部委的频繁发文，均彰显出国家对车联网行业发展的重视，“交通强国”已成为国家的重要发展战略。

（2）标准进展

在标准进展方面，国际上3GPP已经完成LTE-V2X标准研究并向NR-V2X标准演进，目前3GPP NR-V2X的Rel 17版本已基本完成，已启动对Rel 18的研究工作；国内一方面在推动关键技术研究，另一方面也在聚焦产业协同，互联互通、安全监管的标准化，为车联网商用做铺垫。通信标准化协会（CCSA）、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）等相继开展了车联网标准制定。其中，CCSA已完成LTE-V2X的总体技术要求，以及接入层、网络层、应用层的技术标准和测试规范，目前主要解决面向行业规模应用及典型场景应用的技术问题，例如：制定车联网基础设施的运维管理系列标准、面向远程驾驶的系列标准及C-V2X规模部署的测试规范等。

（3）芯片模组及终端

主要通信芯片制造厂商包括高通、华为、大唐、Autotalks等通信企业。

车载终端设备开发，既有传统通信设备供应商，包括华为、大唐和中兴，也有新加入的设备商，包括联陆、星云互联、东软、万集、金溢、千方等。

（4）安全认证

车联网V2X安全身份认证是V2X商业化部署应用的重要保障。V2X安全认证基于PKI（Public Key Infrastructure）证书认证和分发体系，参与通信的V2X

终端利用 PKI 系统颁发的证书对消息进行签名和验签，从而保证消息的完整性和可靠性。

该证书认证体系已经经过“四跨”和“新四跨”的实际测试验证。目前，国内企业如大唐、国汽智联、信大捷安、北京数字认证、晟安信息等公司都可以提供相关的 CA 认证服务。2021 年，IMT-2020（5G）推进组 C-V2X 工作组、中国智能网联汽车产业创新联盟联合在北京（2021 年 5 月）、合肥（2021 年 7 月）、武汉（2021 年 9 月）、柳州（2021 年 11 月）开展 C-V2X 大规模测试验证活动，其中安全测试是重要一环。

（5）整车厂

从 2019 年开始，国内外整车厂积极推动 C-V2X 终端和应用部署。上汽、广汽、一汽红旗、长城、通用、福特、蔚来已经发布 C-V2X 量产车型。

（6）车联网部署及应用

在技术和产业链逐步完善的基础上，我国车联网产业按照“条块结合”的思路，在高速公路及城市道路上同步推进网络部署和应用示范。一方面是车联网新技术试验，在技术拉通的基础之上，形成运营、管理、政策、法规、标准等方面的创新与经验；另一方面，促进当地车联网产业生态的发展，面向商业化应用，探索车联网服务智慧交通的商业模式。

2020 年 7 月，交通、信息通信、汽车等行业联合发起“1 号高速公路”工程，以“贯通京沪高速，赋能干线物流”为目标，打造国内首条车联网先导应用示范高速公路。

2019 年 9 月，全国首个车联网先导区——江苏（无锡）车联网先导区揭牌成立。先导区的建设包括网络部署并装配一定规模的车载终端，完成重点区域交通设施车联网功能改造和核心系统能力提升。

2020 年 6 月，天津（西青）国家级车联网先导区揭牌。先导区在基础设备部署的基础上，重点关注接入层、网络层到信息层的互联互通认证，并牵头制定了 6 个车路协同场景的互通协议。

2020 年 11 月，湖南（长沙）国家级车联网先导区正式揭牌，主要应用场景包括智慧公交示范线、5G 融合 V2X 应用示范等。

2021 年 1 月，重庆（两江新区）获得工信部批准创建国家级车联网先导区，打造了车路协同、智能城市管家、城市巡逻安防、远程驾驶等 6 大场景，实现车路协同超视距感知、主动式公交优先、5G 远程驾驶、自动驾驶等 29 大功能演示。

2021 年 5 月 8 日，住房和城乡建设部、工业和信息化部在京联合召开智慧城市基础设施与智能网联汽车协同发展试点工作部署会议，北京、上海、广州、武汉、长沙、无锡 6 个城市成为第一批试点城市。12 月，重庆、深圳、厦门、南京、济南、成都、合肥、沧州、芜湖、淄博等 10 个城市成为智慧城市基础设施与智能网联汽车协同发展第二批试点城市。

1.3 车联网发展存在的问题

从近期行业进展看出，车联网产业链已基本成熟，已经具备规模商用的基本条件，但目前车联网产业仍存在一些问题亟待解决。

在网络上，C-V2X PC5 与 5G 蜂窝网络相对独立，尚未形成融合部署体系，C-V2X PC5 与 5G 蜂窝网络协同发展优势没有体现出来；

在管理上，目前车联网建设呈点状分布，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，也影响规模化发展；

在成本上，车联网的基础设施包括路侧单元、感知设备、计算单元等成本较高，尤其是 C-V2X 独立专网部署方案，资源利用率较低；

在部署上，车联网目前还没有规范的、成体系的“规、建、维、优、研、运”的标准化流程和体系；

另外，在运营上，存在运营主体不统一和运营模式不明确的问题。

2 5G+C-V2X 车联网架构

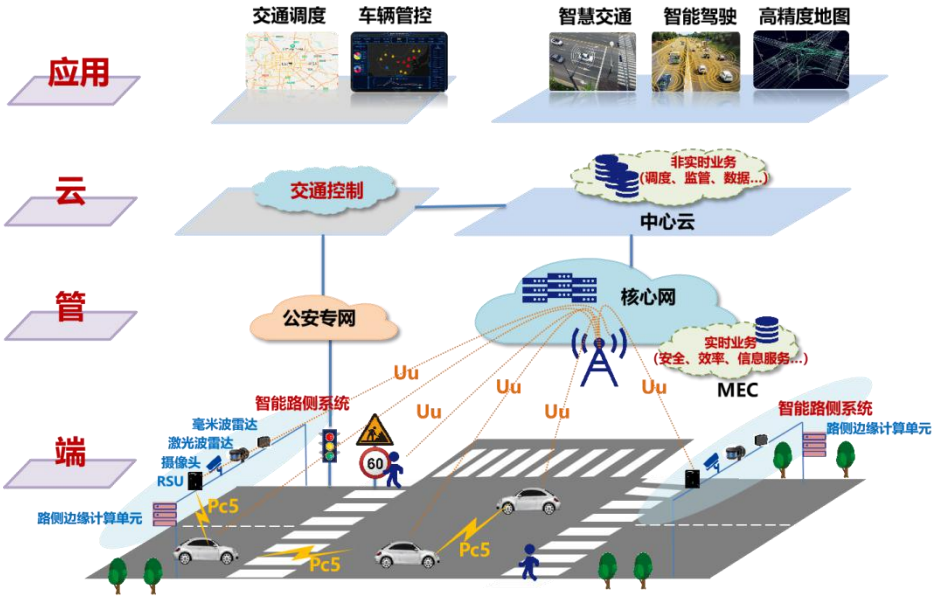

图 1 车联网体系架构

随着车联网业务发展，产业上逐渐形成一套基于“云-管-端”的车联网系统架构，以实现环境感知、数据融合计算及决策控制，从而提供安全、高效、便捷的智慧交通服务。

云：指实现数据汇集、计算、分析、决策以及调度、监管、数据存储的平台，根据业务需求可部署在边缘侧或中心云。云平台包括车联网云平台、交通控制平台等行业应用平台。其中，车联网云平台包括中心云与边缘云，是“云”平台层的核心，通过云边协同保障车联网业务需求。中心云汇聚来自广域范围的车辆、路侧、交通控制平台等交通单元的相关信息，实现各类信息数据的存储与分析，以及非实时信息的下发；边缘云的布设级别低于中心云，支持区域性、低时延信息的高效处理，包括感知数据处理、安全辅助信息处理等。车联网云平台对接交通控制中心等行业平台以及上层应用平台，协同实现智慧出行、地图导航等多种功能。

管：指实现交通各实体元素互联互通的网络。相较于公众蜂窝网络，为满足车联网业务对时延、可靠性等方面的通信需求，LTE-V2X 与 NR-V2X 网络都做了相应的技术增强。例如：LTE-V2X 网络为支持车联网业务的低时延要求引入

了直连通信，同时蜂窝网络引入了 QCI 专载、资源预调度等特性。NR-V2X PC5 的单播、组播、HARQ 等特性，以及 5G 的 uRLLC、切片、QoS 等技术，都可以保证车联网业务的高可靠性。

端：在广义上包括具有通信功能的 OBU（On Board Unit）、RSU（Road Side Unit）等，具有感知功能的摄像头、雷达等，以及红绿灯、公告牌、电子站牌等路侧交通设备。RSU 是道路信息的汇集点，一方面可将收集到的道路交通信息，发送给云平台或用户终端，另一方面可将云平台下发的业务数据广播给附近的用户终端。车载终端、便携式终端是用户获取车联网业务的入口，车联网交通参与者通过终端，经通信网络，最终接入云平台层，可获取“云”上各方提供的车联网应用服务。

在“云-管-端”新型交通架构下，车端和路端将实现基础设施的全面信息化，形成底层与顶层的数字化映射；5G Uu 与 PC5 联合组网构建广覆盖的蜂窝通信与直连通信协同的融合网络，保障智慧交通业务连续性；人工智能和大数据实现海量数据分析与实时决策，建立智能交通的一体化管控平台。

3 运营商赋能车联网

运营商依托 5G、云网融合、云边协同能力，可以为车联网提供广覆盖、低成本、可快速落地的端到端解决方案。以 5G Uu+C-V2X PC5 融合为基础的“云-管-端”车联网系统架构，可实现环境感知、数据融合计算及决策控制，从而提供安全、高效、便捷的车联网服务。同时，MEC、切片、QoS、uRLLC 等网络能力及关键特性，能够为车联网提供低时延、高可靠网络环境。算力网络可实现算力资源的感知与度量、算力的集中与分布协同控制、计算和网络的联合部署优化等，赋能车联网行业，助力车联网应用的快速部署与高效运行。而车联网安全通信、GBA 认证等则可为车联网提供更灵活安全的网络安全保障。

3.1 5G Uu+PC5 融合

车联网是 5G 在垂直行业的重要应用，是助力运营商布局智慧交通、智慧城市的关键突破点。自动驾驶等级应用的不断提高，对网络也提出更严格要求，如在 3GPP TR22.186 定义的车辆编队、半自动/自动驾驶、远程驾驶等高级智能驾驶应用场景中，时延需低至 3 ms，带宽要求 50 Mbps 以上。“网联+计算”是车联网助力智能驾驶的关键。

从网联的角度，一方面需要 5G Uu 网络提供大带宽、大连接、低时延、高可靠性的广域覆盖通信能力，另一方面需要 PC5 网络提供车车和车路等近距离直连通信能力。因此，5G Uu 与 PC5 相互协作、融合，实现网络的无缝覆盖，有效满足“车-路-云”之间的高速信息交互与传输要求。

- ✓ 5G Uu 全域部署部分车路应用。利用 5G Uu 广域覆盖的优势，以及具有大带宽、高可靠、低时延的特性，可实现大部分时延要求不太敏感的业务，如绿灯车速引导、限速预警、道路信息提示等应用，解决 RSU 区域部署带来的业务体验差的问题。
- ✓ 热点区域补充覆盖。通过引入直连通信 PC5，补充 5G 在路口等热点区域的覆盖，实现 Uu 在热点区域的流量卸载。

- ✓ 实现更丰富的车联网应用。5G Uu 与 PC5 技术融合实现多类型通信方式，满足不同应用需求，如 5G Uu 支持远程驾驶、自动代客泊车、高清视频服务等应用，PC5 满足车辆安全预警、车辆编队、交叉路由协作通行等应用需求。

从计算的角度，车联网需要基于大量的数据采集，实现数据的筛选、提取、融合和计算。运营商借助 5G 实现了云网融合的数字化转型，通过对网络、分层云架构整合，形成 ICT 融合基础设施的新形态，具有稳定安全的机房环境，保障了车联网大数据量和大计算量需求。

从设备角度，随着 5G 技术的发展和应用，5G Uu 与 V2X PC5 的融合已成为车联网网络发展的必然趋势。在通信能力上，5G 实现车辆连接的广域覆盖，V2X 实现车车、车路的局部通信；在设备形态上，5G 与 V2X 双模已成为 OBU 和 RSU 的标配，随着 NR-V2X 技术标准逐渐成熟，可在系统架构上实现与 5G 网络的融合部署，避免当前 LTE-V2X 与 5G 产业独立发展的困局。

3.2 MEC

多接入边缘计算（Multi-Acess Edge Computing，MEC）是在靠近人、物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的开放平台，就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在敏捷连接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。

MEC 以边缘网络及边缘计算资源为基础，可满足路侧信息融合分析、安全提示、高精度定位等场景能力部署，提供低时延、大带宽、高算力的运行环境。MEC 业务可基于灵活的网络架构实现，总体架构如图 2 所示。

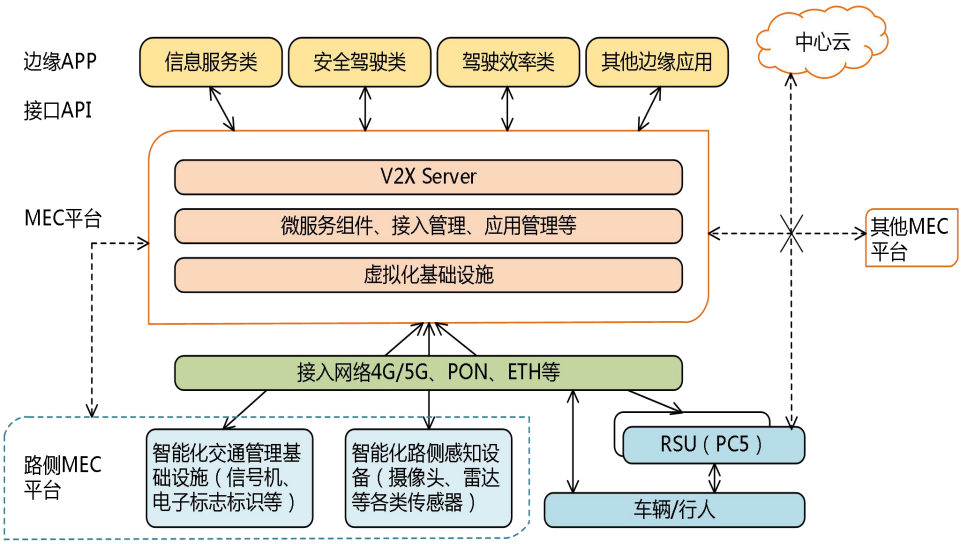

图 2 车联网 MEC 业务总体架构（来源：IMT-2020）

- ✓ 可采用多种 C-V2X 车载终端（OBU）、路侧单元（RSU）及摄像头、雷达等路侧智能化设备接入网络或 MEC 平台的方式，即各类型终端可以选择通过 Uu 或 PC5 接口接入 C-V2X 网络进而接入 MEC 平台，或通过其他合理的接入技术直接接入 MEC 平台；
- ✓ 可灵活部署 MEC 平台，即 MEC 平台选择部署在 RSU 后，或部署在基站节点后，或部署在其他合理的位置；
- ✓ 可灵活配置网络中 MEC 平台的层级数目，即网络中可部署多级 MEC 平台，下级 MEC 平台可作为上级 MEC 平台的接入端，且当网络中存在多层级 MEC 平台时，不限制上下级 MEC 平台之间的网络连接方式；
- ✓ MEC 平台分为三层，包括虚拟化基础设施、微服务组件、接入管理、应用管理以及 V2X Server。其中，V2X Server 提供统一的 V2X 综合服务。

MEC 可通过开放的架构提供核心业务能力与服务化的应用使能环境，主要包含数据协议、数据库、DICT（Data, Information and Communications Technology）能力开放等。MEC 可提供能力具体如下：

- ✓ 车联网应用托管与管理：MEC 在网络边缘提供 IT 基础资源以及虚拟化应用托管环境，多种车联网应用可以部署在其中。MEC 可为车联网应用提供按需的资源规划和编排。MEC 可提供对车联网应用的生命周期

管理，如创建、终止、注册、授权等。

- ✓ 计算、存储、数据分析能力：MEC 可为车联网业务提供计算和存储能力，包括数据缓存、预处理、流分析、函数计算、分布式人工智能及推理等方面的能力。可提供感知数据处理能力，还可提供高精地图的存储和分析计算能力，并进一步为车联网应用的决策算法提供计算能力。MEC 将车、路、云等多源数据进行分析，转化为可理解的信息，进一步通过判断与权衡来形成最优决策，对车辆下发控制建议或直接进行控制。
- ✓ 网络能力：MEC 可以对固移网络数据解析并进行数据分流，完成车路数据的就近处理分析，避免时延过长或网络压力过大。边缘计算可获取运营商无线网络信息，包括无线测量报告中终端用户的信号强度、位置信息、业务承载等信息，辅助车路协同应用获取更精确的用户位置。
- ✓ 能力开放：MEC 通过标准化 API 接口将网络能力开放给车联网应用。

运营商已在全国面向行业部署近千个边缘计算节点，各类车联网应用可部署在 MEC 节点上，调用其各种能力，为用户提供高精度地图、车辆感知共享、提示与预警服务、车辆在线诊断、辅助驾驶、远程驾驶、车载信息增强以及协同调度等一系列服务。通过运营商共享型边缘计算节点，可充分降低车联网的建设成本，实现车联网应用的规模部署。

3.3 切片

通过基于 5G 服务化架构的网络切片技术，运营商能够最大程度地提升网络对外部环境、客户需求、业务场景的适应性，提升网络资源使用效率，最优化运营商的网络建设投资，构建灵活和敏捷的 5G 网络。

5G 网络切片具有“网络功能按需定制、自动化、业务安全隔离”的典型特征，能够将物理网络切割成多个虚拟的端到端网络，每个虚拟网络切片都可以获得独立的网络资源，且各切片之间相互隔离。

在车联网中 5G 网络切片能够发挥重要作用，车联网产生的庞大数据可以通

过 5G 切片+边缘计算的方式进行传输和处理。面向车联网信息服务类、交通安全类等场景，5G 网络切片将提供更智能的网络资源和更可靠的安全隔离，实现各类网络服务的极致性能和用户体验。

围绕当前行业标准中定义的车联网应用场景，综合考虑应用场景中各指标的需求程度，可将车联网场景按需求分为远程遥控类、信息服务类、安全类、效率类等 4 类业务，每一类场景都存在共性需求特征。

- ✓ 远程遥控类业务特性及需求：该类业务对实时性、可靠性要求非常高，对数据传输时延与丢包率都有严格要求，要求通信信道具备较高的安全防护等级。以远程遥控自主泊车、矿山遥控作业、物流园区遥控作业、港口远程遥控等为典型应用场景。
- ✓ 信息服务类业务特性及需求：该类业务场景通常都属于连续性有大带宽需求的场景，需满足高速移动的需求，部分场景对时延和计算能力要求较高。以场站路径引导服务和高精地图动态更新等为典型业务场景。
- ✓ 安全类业务特性及需求：该类业务场景通常通信范围较小，可靠性高，业务连续性需求低。以协作式车辆汇入和协作式交叉路口通行等为典型应用场景。
- ✓ 效率类业务特性及需求：该类业务场景普遍对时延和业务连续性需求较低，但对可靠性和连接数有一定的要求。以车辆编队类应用和近场支付类等为典型业务场景。

车联网有别于公众网应用，对网络的资源隔离、安全保障、业务质量保障等均有比较严格的要求，传输的数据包括控制指令、状态量、图片、视频等，相应地对网络带宽、时延、可靠性、移动性、覆盖范围和用户数等都有不同的要求。网络切片是贯穿无线网、承载网和核心网的端到端网络，需研究各个子域的切片技术方案，实现对车联网业务的端到端服务保障。

- ✓ 无线网子切片选型：5G 无线网络可以通过参数配置，实现切片的资源隔

离和业务质量保障，可以根据行业的安全隔离要求和需要保障的关键SLA 选择不同类型的切片，并进行参数配置。从资源隔离和业务保障的角度，无线网络可以采用 5QI、PRB 资源预留、独立基站等切片类型。

- ✓ 核心网子切片选型：5G 核心网采用 SBA 架构，支持虚拟化跨 DC 分布式部署，根据用户安全隔离要求不同，可以采用的核心网切片类型有：全共享切片、用户面独占切片、全独占切片。
- ✓ 承载网子切片选型：承载网基于 SDN 架构，根据用户安全隔离要求和带宽需求的不同，可灵活选择 QoS、VPN 隔离、FlexE 等切片类型。可实现基于 QoS/FlexAlgo 的软切片差异化调度和基于 VLAN/FlexE/以太网端口的硬切片隔离技术。

3.4 QoS

5G QoS（Quality of Service）是 5G 网络面向不同业务需求提供的网络配置方案，为每一类业务建立合适的无线承载。5G QoS 通过 5QI、ARP（Allocation and Retention Priority）、RQA（Reflective QoS Attribute）、通知控制、GFBR（Guaranteed Flow Bit Rate ）、MFBR（Maximum Flow Bit Rate）等参数对网络性能提供保障，5G 中采用 5QI 作为 QoS 索引，所有的 5QI 分为以下三类承载：

- ✓ GBR（Guaranteed Bit Rate）承载；
- ✓ Non-GBR 承载；
- ✓ Delay Critical GBR 承载：5G 新增的类型，主要用于 uRLLC 类业务。

其中 QoS 特性包括资源类型、优先级水平、包时延预算、误包率及平均窗口。5G QoS 与 4G QoS 参数对比如表 1 所示，5G QoS 增加了反射 QoS 指示和通知控制两项参数，同时 5QI 与 QCI 相比，其测试参数也较丰富。

表 1　5G QoS 与 4G QoS 比较

层级	5G QoS	4G QoS

<table>
<tr><td>UE</td><td colspan="2">UE 聚合最大比特率
（UE-AMBR）</td><td>UE 聚合最大比特率
（UE-AMBR）</td></tr>
<tr><td>PDU 会话</td><td colspan="2">会话聚合最大比特率
（Session-AMBR）</td><td>APN-AMBR</td></tr>
<tr><td rowspan="9">QoS 流</td><td colspan="2">QoS 流 ID（QFI）</td><td>EPS Bearer Identifier</td></tr>
<tr><td rowspan="5">5QI</td><td>资源类型</td><td rowspan="4">QCI</td></tr>
<tr><td>优先级水平</td></tr>
<tr><td>包时延预算（PDB）</td></tr>
<tr><td>误包率（PER）</td></tr>
<tr><td>平均窗口</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td>最大数据突发量（MDBV）</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td colspan="2">分配和保留优先权（ARP）</td><td>分配和预留优先（ARP）</td></tr>
<tr><td colspan="2">最大流比特率（MFBR）</td><td>最大比特率（MBR）</td></tr>
<tr><td colspan="2">保证流比特率（GFBR）</td><td>保证比特率（GBR）</td></tr>
<tr><td colspan="2">反射 QoS 指示</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td colspan="2">通知控制</td><td>N/A</td></tr>
</table>

5QI 是表示 5G QoS 参数的标量，与车联网相关的从 5QI 到 5G QoS 特性的映射关系如表 2 所示。

表 2　5QI 到 5G QoS 映射关系

<table>
<tr><td>5 QI</td><td>资源类型</td><td>Default Priority Level</td><td>包时延预算</td><td>误包率</td><td>Default maximum data burst volume</td><td>Default averaging window</td><td>Example services</td></tr>
<tr><td>75</td><td>GBR</td><td>25</td><td>50ms</td><td>10^{-2}</td><td>N/A</td><td>2000ms</td><td>V2X 消息</td></tr>
<tr><td>79</td><td>Non-GBR</td><td>65</td><td>50ms</td><td>10^{-2}</td><td>N/A</td><td>N/A</td><td>V2X 消息</td></tr>
<tr><td>81</td><td rowspan="3">Delay Critical GBR</td><td>11</td><td>5ms</td><td>10^{-5}</td><td>160B</td><td>2000ms</td><td>远程控制</td></tr>
<tr><td>82</td><td>12</td><td>10ms</td><td>10^{-5}</td><td>320B</td><td>2000ms</td><td>智能交通系统</td></tr>
<tr><td>83</td><td>13</td><td>20ms</td><td>10^{-5}</td><td>640B</td><td>2000ms</td><td>智能交通系统</td></tr>
</table>

根据不同的车联网业务需求，可根据 5QI 值提供不同的车联网业务保障，尤其是 Delay Critical GBR 模式，针对于远程控制及智能交通系统提供专属的网络性能保障。

3.5　uRLLC

对业务时延、可靠性的保障能力是衡量 5G 网络性能的重要指标，针对面向

uRLLC 应用场景，在特定业务模型下，实现业务空口 1 ms 时延以及 99.999%的可靠性是 5G 网络必备的基础能力。5G 网络为了更好的服务 uRLLC 应用场景，标准化组织 3GPP 也完成了一系列的 uRLLC 关键技术研究。

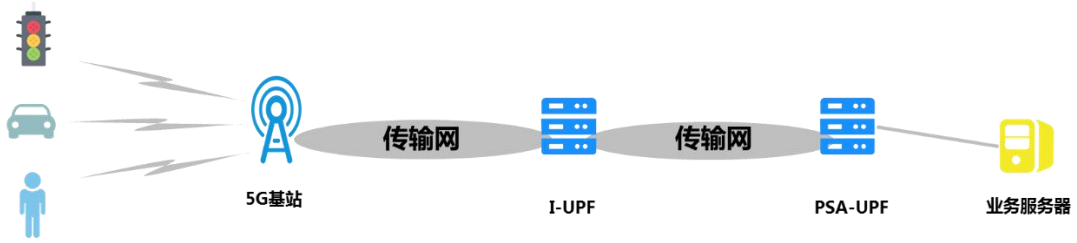

图 8　5G 网络架构

5G 网络包含核心网、传输网以及无线网三部分，如图 8 所示。车联网场景的低时延通信保障方面，在采用了 UPF 下沉部署、高性能处理设备与转发设备的基础上，可以进一步通过无线网的低时延技术方案降低业务时延。无线网低时延技术方案主要包括：

- ✓ 网络制式配置：5G NR 网络支持 TDD 与 FDD 两种工作方式，FDD 制式不受上下行转换时隙影响，低时延优势相比 TDD 制式更为明显；
- ✓ 子载波间隔配置：5G 网络在 FR1 频段支持 15 kHz、30 kHz、60 kHz 三种业务信道子载波间隔，在 FR2 频段支持 60 kHz、120 kHz 两种业务信道子载波间隔，子载波间隔越大，网络低时延优势越明显；
- ✓ 非时隙调度：支持时域 OFDM 符号级的上下行数据业务调度传输，配置的调度符号数越小，业务传输时延越低；
- ✓ Mini-slot：为保证 uRLLC 低时延的要求，5G NR 引入 mini-slot，其中一个下行 mini-slot 包含 2/4/7 个符号，一个上行 mini-slot 包含 1-14 个符号。Mini-slot 与帧结构没有固定关系，不用等待时间轮循，可不受帧结构限制直接调度，有助于降低时延。
- ✓ 下行资源复用：高优先级车联网业务可以抢占其他低优先级业务的下行链路空口资源，进行业务数据的优先传输；

- ✓ 上行资源复用：高优先级车联网业务可以抢占其他低优先级业务的上行链路空口资源，进行业务数据的优先传输；
- ✓ 上行免授权调度：针对车联网业务，网络预配置上行空口资源，上行业务产生后可以直接进行传输，无需网络进行资源分配，降低由于信令交互引入的时延；
- ✓ 反馈增强：支持业务数据的反馈消息以子时隙的粒度进行反馈，降低业务重传的时延；

在车联网场景的高可靠通信保障方面，冗余备份与低码率传输是提高业务可靠性的主要改进方向，技术方案包括：

- ✓ 调制编码方案增强：支持π/2 BPSK 的调制方式以及低码率传输方案；
- ✓ 物理层重复传输：支持业务数据以不同的冗余版本在空口物理层进行重复传输，以获取尽量大的软合并增益，提升业务可靠性；
- ✓ 时隙重复：PDSCH/PUSCH/PUCCH 均支持时隙级自适应重复传输，提升业务可靠性；
- ✓ PDCP 包复制：无线网支持在 CA 或者 DC 场景下，在 PDCP 层进行业务数据复制，并通过不同的空口链路传输，提升业务可靠性；
- ✓ 双 PDU 会话备份传输：终端通过不同的基站、不同的 UPF 建立冗余的 PDU 会话，以不相交的用户面路径保障业务数据的冗余链路，提升业务可靠性；
- ✓ 双核心网隧道备份传输：通过为相同的基站与 UPF 建立冗余的 N3 传输链路，提升基站与 UPF 业务交互的可靠性。

随着 3GPP R16 版本协议的冻结，具备 uRLLC 能力的 5G 网络将逐步成熟。车联网业务中的部分安全驾驶类、驾驶效率类场景对速率、时延、可靠性三个维度指标的要求较高，例如交叉路口辅助通行场景要求信息传输时延小于 20 ms，可靠性大于 99.999%。因此，网络需要提供大带宽、低时延、高可靠性的数据传

输能力，运营商 uRLLC 提供的大上行使能技术、低时延使能技术、超高可靠使能技术可满足车联网场景对“大上行、低时延、超高可靠”的需求。

3.6 算网一体

随着业务类型的不断丰富，车联网行业中存在大量对实时性要求较高的业务。在业务流程中，由于需要实现大量终端数据的回传、云计算节点实时处理、并将结果迅速反馈到终端，网络需要支持上行流量爆发的端、边、云互联，并为终端提供确定性的智能服务。算力网络是结合 5G、泛在计算、人工智能等技术，在“云网融合”基础之上演进的下一个网络发展阶段，是面向计算和智能服务的新型网络体系，更加强调与业务形态的结合，实现应用部署匹配计算、网络转发感知计算、芯片能力增强计算。算力网络在计算效率、可靠性、时延、安全性、隔离度上都将深度耦合，因此未来承载车联网业务的主体由“云网融合”向“算网一体”演变，算力网络能够更好地为车联网新业态提供高效服务。

算网一体架构和组网需要提供各种融合能力，包括运营融合、管控融合、算力融合、网络融合及协议融合等。

- ✓ 运营融合：提供云、算、网、安一体的融合运营平台，为客户提供一键式电商化服务，客户可以订购云、算力、网络、安全等各种服务；
- ✓ 管控融合：云、算、网、安协同编排，通过云、算力、网络、安全等提供服务化 API 接口，将所有服务快速集成、统一编排、统一运维，提供融合的、智能化的管控体系；
- ✓ 算力融合：提供算力管理、算力计算、算力交易以及算力可视等能力，通过算力分配算法、区块链等技术实现泛在算力的灵活应用和交易，满足未来各种业务的算力诉求，将算力相关能力组件嵌入到整体框架中；
- ✓ 网络融合：集成云、网、边、端，基于 5G 网络、全光底座等，形成空、天、地、海一体化融合通信；

- ✓ 协议融合：端到端 IPv6+协议融合，围绕 SRv6、BIER6、APN6 等 IPv6+协议，实现云、网、边、端的协议融合，同时简化端到端控制协议、转发协议，向以 SRv6 为代表的 IPv6+协议演进。

算力网络关键技术包括：（1）网络编排技术，即引入云原生技术，实现业务逻辑和底层资源的完全解耦，打造面向服务的容器编排调度能力，实现服务编排向算网资源的能力开放；（2）网络承载技术，算力承载网以 IPv6+和 SRv6 技术为底座，在网络切片能力的基础上，引入网络感知技术，解决当前网络难以感知业务需求、算力和服务难以良好匹配的问题；同时业务网关进一步下沉，并通过算力网关将南北向流量提前转化为东西向流量；（3）网络转发技术，区别于传统网络设备“转控一体”的架构，算力网络中应用新一代高性能可编程数据包处理芯片，并使用 P4 /NPL 等编程语言，可以实现自上而下地定义数据包的完整处理流程，帮助算力网络实现最适合其自身需求的具体网络行为。

在不久的将来，算力网络将结合多元化的车联网应用，实现算力资源的感知与度量、算力的集中与分布协同控制、计算和网络的联合部署优化等，以提供算力服务的方式，赋能车联网行业，助力车联网应用的快速部署与高效运行。

3.7 安全通信

基于 Uu 接口的车云、路云通信是车联网通信的重要组成部分，Uu 通信主要用于承载 RSU/OBU 至云端的业务，包括终端与中心云通信以及终端与边缘云通信。智能汽车如特斯拉、理想、未来等，均通过移动蜂窝网将车辆接入公有云中心云平台，上报车辆的位置、行驶轨迹、用户身份信息等，实现信息采集、远程启动、系统升级等功能，其中包含大量用户敏感信息，如图 3 中绿线所示。再如 RSU 将激光雷达、视频监控等路侧感知数据上传边缘云进行融合计算，其中包含车路协同关键数据以及管理类数据，如图 3 红线所示。

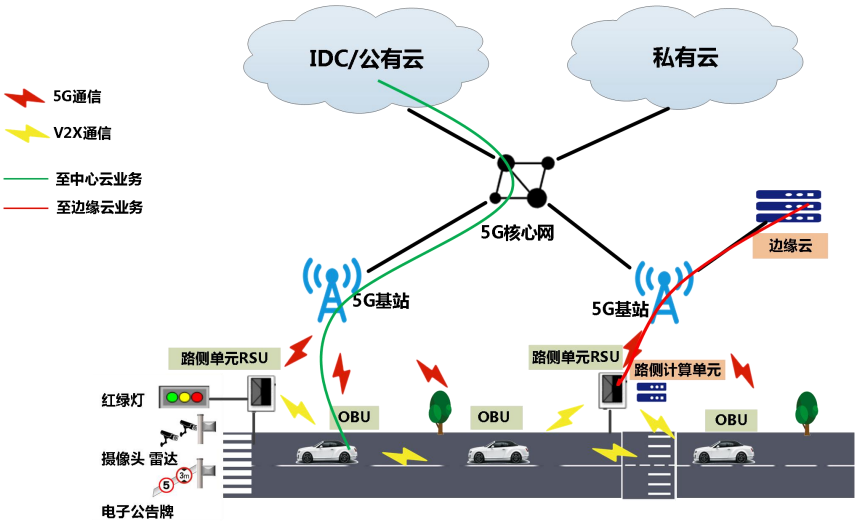

图 3　5G 网络一般性通信流程

上述功能对安全性要求极高，而传统移动蜂窝网通信可能会导致关键业务流量暴露在 IP 公共互联网上或与其他移动蜂窝网业务混跑，如图 4 中网路段③所示，业务流量的传输有受到网络攻击的风险。

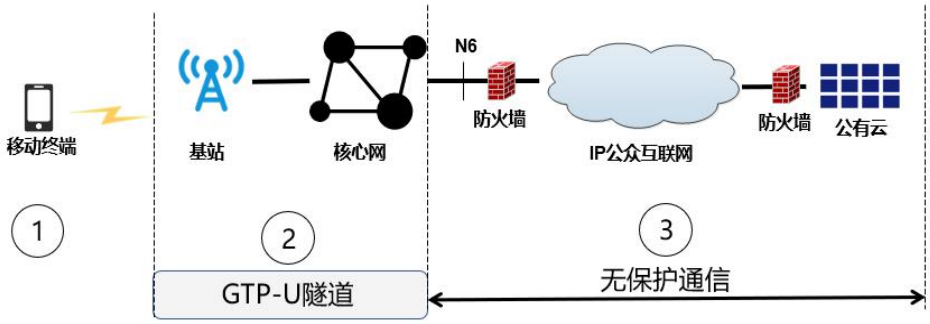

图 4　安全接入终端通信架构

运营商结合自身网络资源及 SDN 技术优势，针对当前 5G 端云通信的安全风险，提出基于 5G 移动蜂窝网接入的端到端安全通信解决方案，实现“云网边端业”端到端安全通信，为车路协同业务提供优质的通信服务能力、广阔的业务模式以及可扩展的业务延伸能力。

该安全通信解决方案在终端侧集成安全模组或安全网关，对重点业务流量进行隧道封装，可选隧道协议包括 GRE（Generic Routing Encapsulation）、IPSec（Internet Protocol Security）等，安全模组/安全网关即作为隧道封装的起点。网络侧应部署相应的隧道端点用于将封装的流量解封，隧道端点可部署在 5G 边缘

MEC 上，也可部署在 5G 核心网 UPF 外侧，而部署在边缘侧有利于降低通信时延。

网络侧隧道端点部署位置如图 5 中隧道起点和终点标识所示。对于终端访问边缘云业务，如图 5 中左图所示，隧道起点在 OBU 或 RSU，经由运营商 5G 网络到达本地 MEC，MEC 中部署云化网关，对隧道流量进行解封装，并对业务进行处理。MEC 部署有对外互联的接口，通过专线或建立 VPN 的方式连接至用户部署的外部云服务器，用于将部分处理结果回传，如绿色线段所示。

对于终端访问中心云业务，如图 5 中右图所示，隧道起点在车载单元或路侧单元，经由运营商 5G 网络直接到达运营商网络中的汇聚设备，即隧道终点。该设备将流量解封装，并直接连接用户的外部云服务器，可选择通过光纤直连或 VPN 等方式，保障网络对接安全和用户数据隔离，如绿色线段所示。

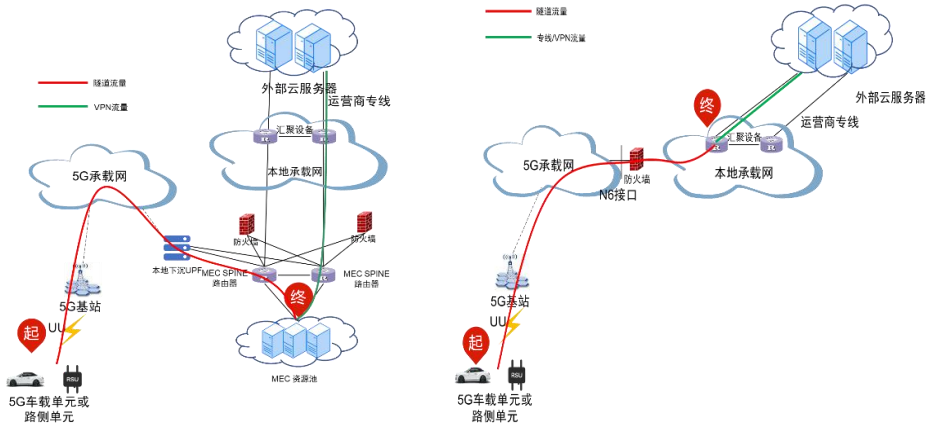

图 5 终端访问边缘云（左），终端访问中心云（右）安全隧道

在安全传输过程中隧道封装协议流程如图 6 所示。用户面数据表示用户实际的业务数据，用户数据首先经过安全模组/安全网关的 IPSec 隧道封装，然后由基站进行 GTP-U 封装，随后 GTP-U 在 5G 核心网 UPF 解封装，IPSec 在网络侧隧道端点解封装并将用户数据转发到运营商 MPLS/VPN 专网中进行转发，最终到达中心云平台，从而实现从用户终端到云平台的端到端安全通信。此外通过 SDN 和 NFV 化的网络架构，对网络中的隧道端点进行统筹管理，并实现车辆和云端之间传输路由的智能动态调整，确保选择最优的传输路径进行数据传输。同时通

过环网、双节点、双平面等网络保障手段，确保网络节点故障时路由自动切换，提升数据传输可靠性。

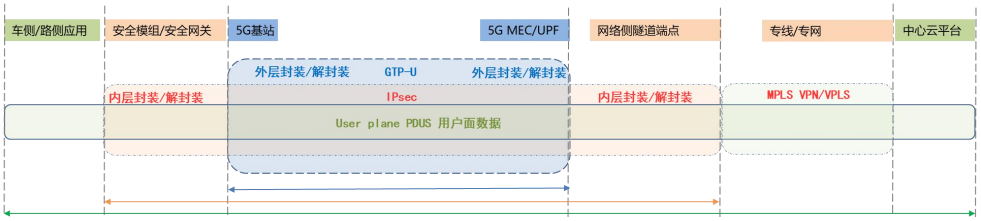

图 6 端到端安全传输隧道封装通信过程

基于移动蜂窝网接入的端到端安全通信解决方案契合目前车云通信过程中的多环节安全需求，部署简单，可行性强，是运营商利用自身网络能力赋能车联网行业的重要应用实践。

3.8 认证

为了确保车联网业务中基于 PC5 直连通信的消息来源真实性、内容完整性，防止消息重放，目前国内外标准组织普遍同意采用数字证书，通过数字签名/验签的方式对 PC5 消息进行保护。因此需要车联网安全管理系统来实现证书颁发、证书撤销、终端安全信息收集、数据管理、异常分析等一系列与安全相关的功能，确保车联网应用安全。在此之前，车联网终端必须完成设备初始化，以安全的方式完成密码公钥/私钥对、数字证书等敏感参数的初始配置，从而利用数字证书实现安全通信。

目前，车联网通信设备的初始安全配置主要是由设备生产企业通过生产线灌装的方式完成，需要企业生产线具备安全的生产环境以及具备安全操作经验的工人。初始安全配置操作对车联网终端厂商有较高的安全生产要求，车企不仅面临着生产线、生产流程升级改造的问题，同时还面临着安全生产合规、安全审计、安全信任关系构建、安全成本管控等多方面难题。因此，需要寻求更为简洁、有效的车联网终端认证及安全交互方法，满足车企对车联网终端初始安全配置的需求。

车联网终端普遍支持 USIM（Universal Subscriber Identity Module）卡通过蜂窝网 Uu 接口获取数据通信服务，USIM 卡是安全等级达到 EAL4+的硬件安全设备，能够为上层应用提供 GBA（Generic Bootstrapping Architecture）认证能力，以实现端侧和平台之间的安全通道，同时可基于 USIM 卡的安全存储能力，安全保存各类密钥和凭证（包括各类证书及其私钥），并且可以利用 USIM 卡的安全运算能力为应用提供密码运算服务。因此 USIM 卡可以作为车联网终端的本地安全基础设施及安全信任根，以实现设备的初始安全配置。

GBA 是 3GPP 定义的一种基于移动通信网络和用户卡的通用认证和会话密钥提供方法，可以为应用层业务提供完整的安全认证及会话通道加密服务。基于 GBA 的初始安全配置方案以 USIM 卡作为通信设备安全环境及初始信任根，使设备自主完成密钥产生以及证书在线申请与加载，实现初始安全的“一键配置”，降低企业生产线的改造成本，简化企业生产操作的复杂度，快速实现部署。该方案能够使初始状态的 OBU 设备、RSU 设备以及行人便携设备在身份认证后安全地接入 CA 管理系统，完成初始配置和证书更新等操作。基于 GBA 的车联网证书初始安全配置方案主要流程如图 7 所示。

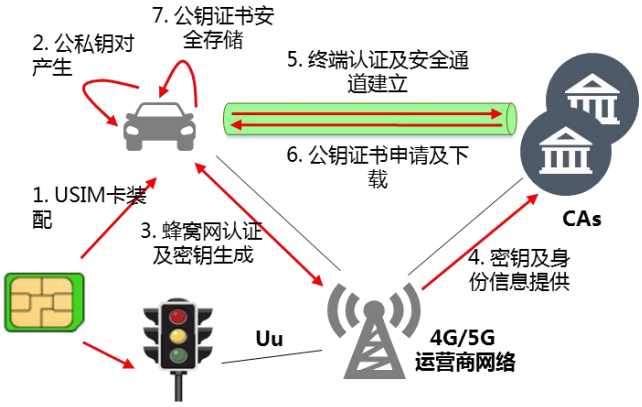

图 7 基于 GBA 的车联网证书初始安全配置方案

基于 GBA 的初始安全配置方案，车联网终端无需预置任何业务密钥或数字证书，可基于 USIM 卡与 4G/5G 网络间的共享密钥，与 ECA（Export Credit Agency）实体进行双向身份认证，并在两者之间建立初始信任关系，满足 EC 证书及其他证书初始申请以及安全传输要求。申请的 EC 证书以及其他证书（尤其是私钥），

可以安全保存在 USIM 卡内，并由 USIM 卡提供证书及私钥的安全运算接口，满足证书的安全使用要求。

4 运营商优势

（1）融合组网、全城全网、全域覆盖

在国家政策及市场的双轮驱动下，我国的 5G 基站已经实现规模部署。截至 2022 年 10 月末，国内 5G 基站总数达 225 万个，占移动基站总数的 20.9%，中国 5G 基站数量占全球比例超 70%。5G 移动电话用户达 5.24 亿户，占移动电话用户的 31.1%。而受功率、频点以及基建成本的影响，C-V2X PC5 模式无法独立实现广域连续组网。Uu 和 PC5 作为通信双通道，紧密结合、互相补充，实现全城全网覆盖，可保证车联网业务的连续性；

在网络架构上，可支持 RSU 有线/无线回传。尤其基于 5G 网络，可实现将大带宽感知数据（包括摄像头、雷达、RSU 等）快速回传至运营商覆盖全国的各级边缘计算节点，在近源侧实现对业务数据的快速处理，并节省跨域带宽，降低业务成本。非实时业务数据可通过 5G 网络及运营商骨干承载网回传至中心云，实现对车联网的“云网边端业”一体化协同支撑。

（2）规建维优营能力及经验

运营商蜂窝网已经历从 2G 到 5G 的技术演进及设计，在网络规划、建设和运营优化方面深耕多年，具有信息化基础设施的建设运营经验，新技术的创新和应用能力较强，尤其是在云、网融合趋势越来越明显的今天，运营商对网络的管、维更加信息化、自动化和实时化。同时运营商对 5G+C-V2X 网络集中规划、采购、测试和建设，有利于促进产业链标准化发展，有利于快速形成规模连续覆盖。

（3）数据运营

车联网业务的运营过程中，会产生或使用大量具有价值的数据信息，包括车辆状态数据、交通参与者状态数据、地图数据、信号灯数据、交管数据。该类数据在运营商网络中传输，运营商可以天然获取这些数据；此外，此类数据对安全性要求高，需要具备安全性保障的公司进行运营。未来，面向自动驾驶服务的数据运营服务，对复杂数据处理能力和快速分析决策能力提出了更高要求，作为数据运营方且具备高算力能力的运营商具备先天条件和计算优势。

（4）按需的网络能力灵活调用及性能保障

LTE-V2X 和 NR-V2X 为车联网的局部低时延通信提供了可靠保障，尤其是 NR-V2X 可支持高级智能驾驶业务。而 5G 的大带宽、低时延、高可靠能力以及基于 SDN 和 NFV 实现的网络灵活配置，可根据不同类型的业务应用和需求提供多样化的网络服务，例如 QoS、切片等能力，实现在不改变硬件设备和网络部署的前提下灵活配置网络性能。

（5）客户重叠，有一定的客户基础

在车载信息服务阶段，运营商已积累大量车联网用户，且运营商移动业务用户与车联网用户重叠度较高，因此，运营商有开展车联网业务的用户优势。一方面，在车联网发展初期可基于已有服务快速提高车联网渗透率，另一方面，运营商客户服务能力也能保障提供优质的车联网服务。

（6）成本最优

运营商有完备的网络建设和运维体系，可充分复用现有基础设施，例如机房、站点、传输网等，以最少的资源建设车联网网络系统。

（7）网络安全保障

运营商拥有成熟的网络安全保障体系，如供电安全（油机、电池）、承载安全（光缆双路由、OTN 保护）、信息安全（网络安全等级保护、安全加密）等。

（8）互联互通和集约化管理

有利于实现“云网边端业”一体化协同和全国集约化管控，易于实现跨运营商的互联互通，形成全国集中的公共数据资源池，杜绝数据孤岛。

5 运营商车联网创新能力实践

运营商充分发挥 5G 网络优势，依托丰富的网络资源及 MEC、切片、QoS 等能力，为车联网提供高可靠、低时延的网络保障，并积极参与到车联网规模部署及应用创新实践中，在天津、长沙、无锡等多个重点城市开展规模应用。

中国联通联合天津大学，已在天津海河教育园区打造了基于 5G+MEC+V2X 融合网络的 5G 无人公交智能网联示范区。整个示范基地全长 28 公里，包含大学园区和市政道路，场景丰富。中国联通在海教园示范区内建设 5G 基站，部署 RSU、激光雷达、毫米波雷达、交通信号灯等基础设施，并在天津大学建设 MEC 节点，完成了 5G 核心网 UPF 下沉和 MEC 连接，实现了示范道路 5G 全覆盖。中国联通在海教园示范区内部署了“边缘云-区域云-中心云”三级云架构的 5G 车路协同服务平台，全面融合了 5G、V2X、传感器、智能车载硬件、自动驾驶以及 AI 技术，实现了“全连接可视、全数据可见、全事件可溯”，广泛支持车路协同、远程驾驶、全息感知等场景组件，满足多用户、多租户的独立管理和应用创新需求，面向 5G 车联网示范、城市交通创新、无人接驳、港口、景区、校区等场景，实现了真正意义上的人、车、路、网、云、端一体化安全运营管理。中国联通联合天津大学在海教园示范区打造了 5G 无人公交，支持安全停靠、盲区预警、车速跟随、绿波通行、行人避让、车辆调度等多项核心应用，实现无人公交的常态化运营。

中国电信联合重庆两路寸滩保税港区管委会、重庆飞力达供应链管理有限公司等合作伙伴，成功开发出国内首例商业化车路协同智慧物流系统，并成功在重庆两路寸滩综合保税区正式投入商业试运行。该商业化车路协同智慧物流系统，基于 L4+I4（Infrastructure 4，道路基础设施的智能化水平达到第 4 级，具有完全的数字化、高度的智能化、自动化能力）级车路协同自动驾驶技术进行开发。在商业试运行中，已经实现智能仓库端接受订单后，智能化立体仓库对指定货物自动分拣、出库；通过 AGV（Automated Guided Vehicle，自动导航车）转运至自动驾驶货车；货车再通过 5G+V2X+MEC、车路协同融合感知及高精度定位等技术，实现 L4+I4 级的自动驾驶，将货物安全运输至制造工厂，实现闸机自动抬杆、绿波通行、变道超车、盲区检测等多项自动驾驶场景；最后，在货车抵达制造工

厂后，通过 RFID（Radio Frequency Identification，射频识别技术）技术实现货物自动识别，AGV 搬运至生产车间，完成订单交付的端到端全业务流程。该套商业化车路协同智慧物流系统投入生产运营后，物流企业的操作效率提升了 30%，操作准确度达到 100%，同时库存周转率提高 20%。未来，该项目还将继续进行优化升级，进一步构建端到端的无人化、数字化智能制造产业体系，打造智慧园区的物流共享中心，服务园区所有工厂，打通上中下游供应链，提升管理效率。同时，其成果可以广泛向智慧城市、智慧交通、智慧物流、智能制造等行业赋能。

中国移动积极推动辅助驾驶的规模化部署和自动驾驶的特定区域试点应用，促进车联网规模化商业应用。在无锡联合公安部交科所、无锡交警、信通院等完成全球首个“车联网（LTE-V2X）城市级规模应用示范”项目，覆盖无锡主城区 400 平方公里，改造路口 800 个，用户数量已达到 10+万，产业伙伴发展至 40 多家，成为全国首个国家级车联网先导区。中国移动在无锡布设 5G 基站、RSU 等网络基础设施，雷达等路侧感知设备，并智能化升级改造交通信号灯，部署“中心-区域-边缘”多级云服务平台，重点打造了面向群众、面向行业的交通信息服务应用，实现信号灯数据上传百度地图和车联网专有 APP，为多家车企多款车型提供道路信息服务；结合 5G 智慧急救场景，在指定医院周边道路启用急救车优先通行服务；面向 500 辆网约车提供交通信息服务；向公交车、出租车、工程车提供交通信息服务；在部分重要路口加强相关基础设施建设，实现路口交通优化。开展道路延伸协同感知应用，提供精确、量化的实时路面信息。通过车联网技术切实提升交通运管部门的数据利用率，提高行业安全管理水平。基于中国移动江苏车联网先导区创新应用成果打造的《5G 车路协同助力江苏车联网先导区建设项目》入选 5G 世界大会 5G 十大应用案例，并荣获 5G 融合应用揭榜赛企业组二等奖。同时，中国移动在江苏苏州、重庆、武汉、湖南长沙等多地开展了车联网应用及示范的实践。

6 总结与展望

车联网是融合各行业最新技术的新兴战略产业，是建设“新型基础设施”的重要方向，也是各国开展新一轮技术创新革命的重要环节。车联网是 5G 垂直行业应用的重要方向，同时 5G 也是实现车联网的必要条件。作为宽带移动广域覆盖的典型场景，5G 赋予车联网低时延、高可靠、弹性算力的网络和计算环境，与 C-V2X PC5 构建了广覆盖与直连通信协同的融合网络。运营商是车联网的重要参与者，具有完备的通信基础设施以及丰富的网络运维运营经验。对于未来车联网产业发展，一方面需要在网约车、出租车、公交车、特种车辆上快速推广车联网业务应用，形成一定的业务应用规模。另一方面需要开展城市级 5G 车联网的融合网络建设和业务落地，形成标准化建设及运维管理流程，探索可持续的商业运营模式。

✧ 主编

蔡超、周光涛、卓海龙、谭国华、邓辉，陈荆花

✧ 编写组成员

中国联通：邱佳慧、林晓伯、张香云、高沛、夏小涵

中国移动：郑银香、沈旭、马少飞

中国电信：王秋红、周秀杰、段惠斌