

5G 车联网需求与技术 白皮书

(2021 年)

中国移动研究院

前 言

本白皮书结合车联网的发展趋势，从车联网增强的应用场景出发，介绍 5G 车联网 Uu 蜂窝网络与 PC5 直连通信协同的系统架构，对 5G-V2X 蜂窝网络以及直连通信新增的通信技术特性进行总结，并且分析其对 5G 车联网应用的提升，旨在推动产业对 5G-V2X 发展形成共识，推动 5G-V2X 技术与应用成熟。

当前，面向车联网应用的网络需求的不断增长，产业上下游需要提前在技术及规划上做好准备。第一版 5G-V2X 标准 3GPP R16 于 2020 年 7 月冻结，5G-V2X 中 NR Uu 与 NR PC5 的协同应用，共同支持演进的车联网应用场景对网络时延、通信速率、通信范围、可靠性、业务连续性等新增的需求。

面向未来，5G 车联网的发展需要通信、汽车、交通、公安等多行业的共同协同努力，完善 5G-V2X 行标及跨行业标准制定，提升核心技术及产品研发、验证的能力，推动车联网应用规模化部署。

联合编写单位及作者

（排名不分先后）

中国移动研究院：肖善鹏，李凤，张翼鹏，李源，沈旭

中国移动上海产业研究院：蒋鑫，王宇欣

华为技术有限公司：汪少波，卢磊

大唐高鸿数据网络技术股份有限公司：李晨鑫，房家奕

中兴通讯股份有限公司：许玲，汪竞飞

高通无线通信技术（中国）有限公司：李俨，陈书平，殷悦

中国第一汽车集团：王硕，蒋坤

北京汽车研究总院有限公司：曹增良，陈新

上海汽车集团股份有限公司：邹清全，高吉

长城汽车股份有限公司：张瀛

广州汽车集团股份有限公司：杨波

目录

1	概述.....	1
2	演进的车联网应用场景需求分析.....	2
2.1	安全驾驶场景需求分析.....	3
2.2	驾驶效率场景需求分析.....	3
2.3	远程驾驶类场景需求分析.....	5
2.4	信息服务场景需求分析.....	5
3	5G 车联网系统架构.....	6
4	5G 车联网蜂窝网络关键技术分析.....	7
4.1	eMBB.....	8
4.2	uRLLC.....	8
4.3	切片技术.....	11
4.4	边缘计算.....	12
4.5	业务连续性.....	12
4.6	QoS 管理.....	13
4.7	网络能力开放.....	13
4.8	网络数据分析服务.....	14
5	NR PC5 直连通信关键技术分析.....	14
5.1	直连通信单播和组播.....	14
5.2	直连通信物理层结构.....	15
5.3	直连通信 CSI 测量.....	15
5.4	直连通信 HARQ.....	15
5.5	直连通信同步.....	16
5.6	直连通信资源分配.....	16
5.7	LTE-V2X 和 NR-V2X 共存.....	17
6	总结与展望.....	17
	缩略语列表.....	1
	参考文献.....	2

1 概述

车联网 C-V2X 技术是在不断演进的，当前包括了基于 LTE 移动通信技术演进形成的 LTE-V2X 技术以及基于 5G 平滑演进形成的 5G-V2X 技术。与 LTE-V2X 类似，5G-V2X 支持基于 Uu 接口的网络通信模式（NR Uu）以及基于 PC5 接口的终端直通的通信方式（NR PC5）。NR Uu 接口基于 5G 蜂窝网络技术大带宽、低时延、高可靠的特性，能够支持车辆、交通基础设施、人、云端平台之间信息的快速传输，而 NR PC5 支持实现车辆/人/交通路侧基础设施之间的直接通信，可以实现更多的应用场景，也可以保障保证无网络覆盖环境下的互联互通。此外，Uu 还可实现针对 PC5 接口资源调度，以便合理地分配直连通信传输资源，提高 PC5 通信传输的可靠性。5G-V2X 中 NR Uu 与 NR PC5 的协同应用，共同支持实现多类型的车联网应用。

第一版 5G-V2X 标准 3GPP R16 于 2020 年 7 月冻结，提供更灵活，更可靠，更快速，更高数据速率的通信服务，实现 V2X 最低 3ms 端到端时延，最高 99.999% 可靠性和最高 1000Mbps 传输速率，支持车辆编队、高级自动驾驶、传感器信息共享、远程驾驶等更丰富的车联网应用场景。全球化车联网产业组织 5G 自动驾驶联盟（5GAA），对于 C-V2X 技术的部署路线方面也给出了预估。综合考虑芯片、模组、终端、路侧设备、通信网络等多方面的进展及成熟度，预计 2021 年，NR Uu + LTE PC5 的芯片、模组可成熟商用，支持部分大带宽、时延要求不是很苛刻的车联网应用。预计 2024 年，可实现基于 R16 版本的 5G-V2X 技术应用，支持更多自动驾驶场景的实现^[1]。

由于 5G-V2X 产业成熟还需要一定周期，因此 5G-V2X 在将来并不会取代 LTE-V2X，而是 LTE-V2X 技术增强和补充，与 LTE-V2X 共存并针对不同用例提供服务。LTE-V2X 主要用于支持辅助驾驶及部分低要求的自动驾驶应用，而 5G-V2X 则用于面向自动驾驶的高级应用。

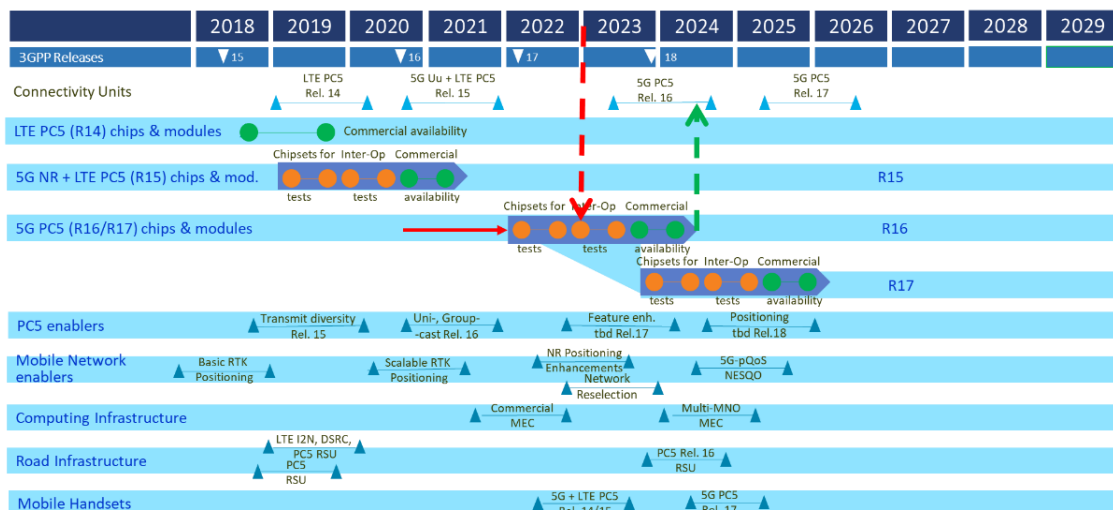


图1. 5GAA C-V2X Roadmap 项目预估的 C-V2X 技术路标^[1]

2020 年以来，我国政府层面发布了一系列车联网相关政策推动车联网产业的发展。工信部印发《关于推动 5G 加快发展的通知》，明确提出“促进 5G+车联网”协同发展。发改委等 11 部委联合发布《智能汽车创新发展战略》，明确了对 LTE-V2X 和 5G-V2X 的覆盖规划，以及自动驾驶智能汽车的规模生产和市场化应用的规划。产业方面，随着 5G-V2X 标准的冻结，各方均在积极推进基于 5G 的车联网产业加速发展。

2 演进的车联网应用场景需求分析

随着车联网技术与产业的发展，车联网应用场景的研究也在不断演进。除了前期在行业标准《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》等中已经定义了 17 个 LTE-V2X 基础应用场景外，近期国内 CCSA、CAICV、C-ITS 与国外 5GAA 等标准组织与产业联盟针对演进的车联网应用需求进行分析研究，提出了增强的车联网典型场景，可面向高级辅助驾驶及自动驾驶，对通信技术也提出了更高的要求。

围绕《增强的 V2X 业务总体要求和应用层数据交互要求》、《基于车路协同的高等级自动驾驶内容数据交互内容》及 5GAA 中 C-V2X Use Cases and Service Level Requirements Volume II（应用需求研究项目第二阶段）等标准及研究报告中定义的增强的车联网应用场景，综合考虑应用场景各指标的需求程度，可将

演进的车联网场景按需求分为安全驾驶、驾驶效率、远程驾驶、信息服务等四大类，每一类别场景都存在共性需求特征。

2.1 安全驾驶场景需求分析

安全驾驶类场景包括车辆汇入汇出、弱势交通参与者识别、基于车路协同的交叉口通行、交通参与者感知数据共享、协作式变道、道路交通事件提醒。

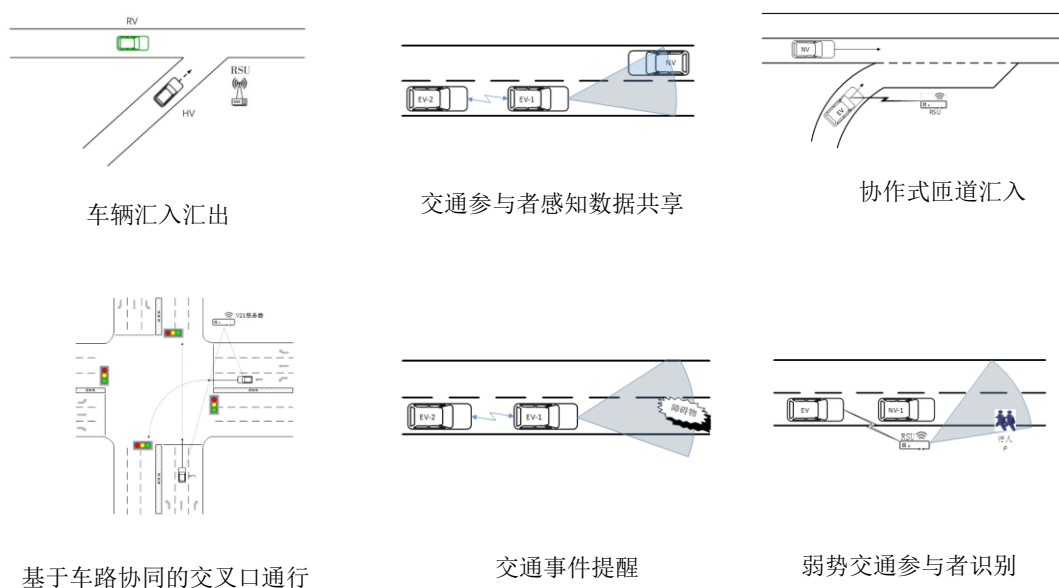


图2. 安全驾驶应用场景

安全驾驶类场景通常通信范围小，可靠性高，业务连续性需求低，平台需求普遍较低，除部分涉及感知需求的场景外，其他场景计算和存储能力需求都不高。具体来说，时延 $\leq 100\text{ms}$ ，涉及到决策信息时 $\leq 20\text{ms}$ ；数据包 $\leq 1600\text{bytes}$ ，以结构化数据为主，数据包发送频率 $\geq 10\text{Hz}$ ；通信范围 $\geq 300\text{m}$ ；可靠性范围为 $99\% \sim 99.999\%$ ；定位精度要 $\leq 1\text{m}$ ；都有广播、单播需求，部分场景有组播需求^{[2][3]}。

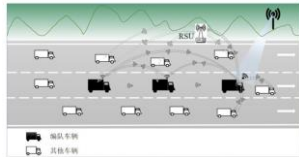
2.2 驾驶效率场景需求分析

驾驶效率类场景又可细分为三类：

(1) 编队类场景

编队类场景包括车辆编队行驶和协作式车队管理等。编队类场景要求时延低，

可靠性高，数据包发送频率高，业务连续性和平台需求总体较低。具体来说，时延在队内通信 $\leq 20\text{ms}$ ，队外通信 $\leq 100\text{ms}$ ；可靠性范围为 99%~99.99%；数据包发送频率 $\geq 35\text{Hz}$ ；通信范围 $\geq 300\text{m}$ ；车速 $\leq 120\text{km/h}$ ；定位精度 $\leq 1\text{m}$ ；协作式管理类对业务连续性需求高，交互类要求较低；涉及车队管理的对平台需求高，其他场景对平台需求低^{[2][3]}。



车辆编队行驶

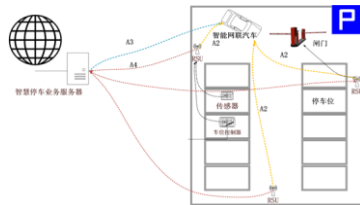


协作式车队管理

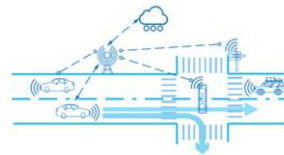
图3. 编队类应用场景

(2) 精细化路径引导类场景

精细化路径引导场景包括智能停车引导、局部路段引导、车辆场站路径引导等，此类场景对速率、定位精度和平台需求高。具体来说，时延 $\leq 100\text{ms}$ ；下行速率 $\leq 100\text{Mbps}$ ，上行速率 $\leq 20\text{Mbps}$ ；数据包发送频率 $\geq 10\text{Hz}$ ；可靠性范围为 99%~99.9%；定位精度 $\leq 0.5\text{m}$ ；业务连续性低；对平台需求高，计算存储都高^{[2][3]}。



智能停车引导



局部路段引导

图4. 精细化路径引导类场景

3) 交通管理类场景

交通管理类场景包括浮动车数据采集、基于实时网联数据的交通信号配时动态优化等。对平台计算能力需求低，存储能力部分场景较高。时延： $\leq 100\text{ms}$ ；部分场景车云通信 $\leq 1000\text{ms}$ ；数据包 $\leq 1200\text{Bytes}$ ；可靠性：99%~99.9%；平台：

计算能力需求低，存储能力部分场景较高^{[2][3]}。

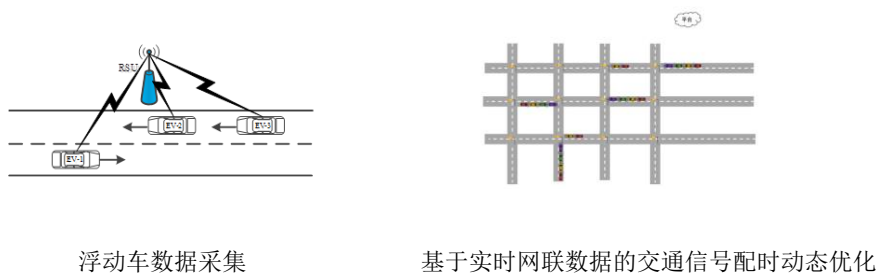


图5. 交通管理类场景

2.3 远程驾驶类场景需求分析

远程驾驶类场景，包括远程端为驾驶员，向车辆发送控制指令或形式建议的远程驾驶，如远程接管等场景，以及远程控制端为平台程序，对车端进行控制实现自动泊车，如自动代客泊车等。远程驾驶类场景通常都属于连续性有大带宽上行以及低时延下行需求的场景，需满足高速移动性需求，平台需满足大数据存储能力需求，部分场景对时延和计算能力要求较高。具体来说，上行时延 $\leq 100\text{ms}$ ，下行时延 $\leq 20\text{ms}$ ；上行速率 $\geq 60\text{Mbps}$ ，下行速率约 400kbps ；可靠性上行一般大于 99.9% ，下行大于 99.999% ；定位精度 $\leq 1\text{m}$ ；对业务连续性有需求；车速 $\leq 70\text{km/h}$ ；对平台有需求，且存储能力需求高，计算能力需求较高。



图6. 远程驾驶类应用场景

2.4 信息服务场景需求分析

信息服务类场景包括基于车路协同的远程软件升级、车载娱乐信息、差分数据服务等。信息服务类场景通常都属于连续性有大带宽需求的场景，需满足高速

移动性需求，平台需满足大数据存储能力需求，部分场景对时延和计算能力要求较高。具体来说，与中心平台交互时延 $\leq 100\text{ms}$ ，与 MEC 交互时延 $\leq 20\text{ms}$ ；部分场景上行速率 $\geq 200\text{Mbps}$ ，下行速率最高可达 $500\text{Mbps}\sim 1\text{Gbps}$ ；可靠性一般大于 99%；定位精度为米级；对业务连续性有一定需求；车速 $\leq 120\text{km/h}$ ；对平台有需求，且存储能力需求高，计算能力视情况而定^{[2][3]}。

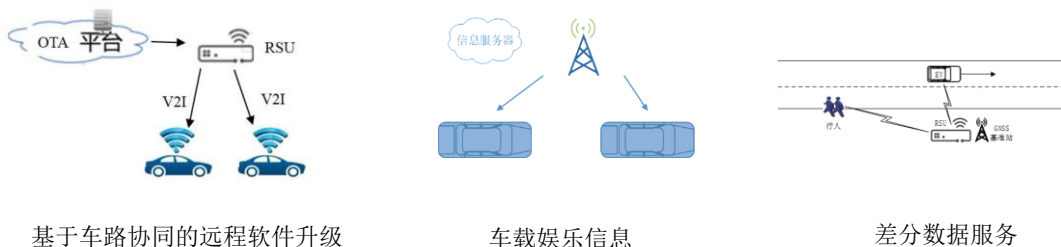


图7. 信息服务类应用场景

3 5G 车联网系统架构

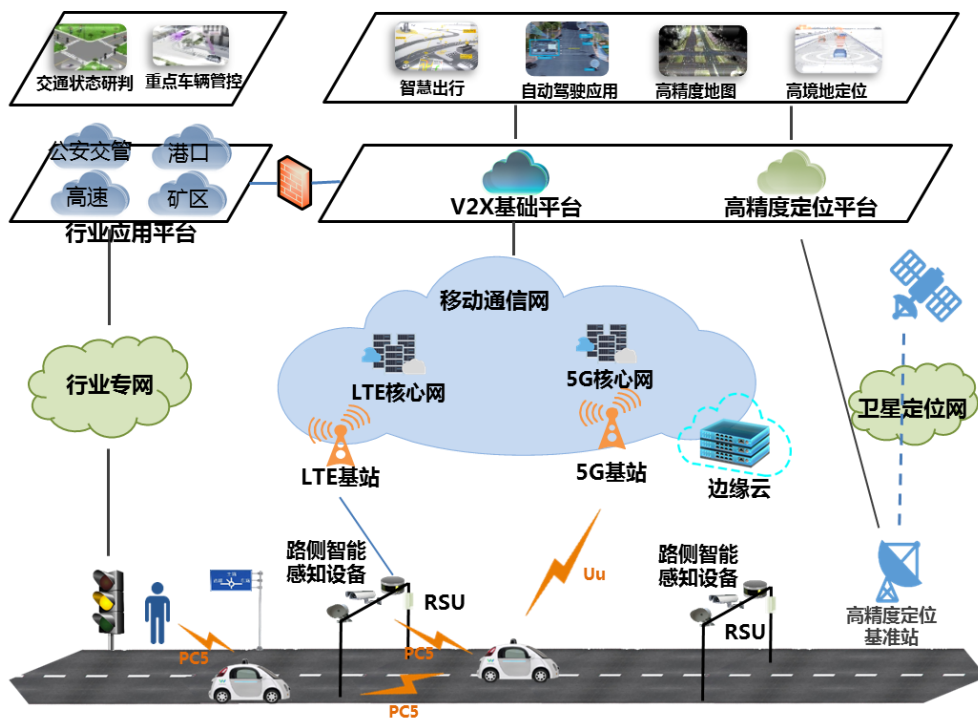


图8. 5G 车联网系统架构

随着车联网业务的发展，产业上逐渐发展出一套基于“云-管-端”的车联网系统架构以支持车联网应用的实现，如图 8 所示。“云”是指 V2X 基础平台、高

精度定位平台等基础能力平台，以及公安交管平台、高速服务平台、港口应用平台、矿区应用平台等行业应用平台。其中，V2X 基础平台汇聚来自车辆、路侧设备以及应用平台的 V2X 相关信息，并实现高速计算与实时分发、数据存储与分析；高精度定位平台可实现车辆动态厘米级定位，这将满足现阶段以及未来车联网应用场景的定位精度需求。“管”指为车联网业务数据提供传输的通信网络，包括 4G 网络、5G 网络及行业专网等。相较于普通的蜂窝网络，为满足车联网业务对时延、可靠性等严格的通信指标要求，4G、5G 网络都做了相应的技术增强。“端”在广义上包括路侧单元 RSU、车载终端、便携式终端等多形态的设备。

为满足自动驾驶等车联网业务低时延、大带宽的需求，V2X 通信技术在车联网系统中发挥着至关重要的作用，一方面需要 NR Uu 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 NR PC5 提供车车和车路等近距离直连通信能力。因此，5G-V2X 中 Uu 蜂窝网络与 NR PC5 相互协作、融合，实现网络的无缝覆盖，将有效满足“车-路-云”之间的高速信息交互与传输的要求。一是有效增强网络覆盖，直连通信的覆盖与 5G 网络端侧覆盖能力互为补充，实现车联网全天候，全路段网络连接；二是有效利用网络资源，针对需要与云端、边缘计算交互的、数据有特殊要求的场景可通过 NR Uu 实现，如远程驾驶、高清娱乐信息服务等，而时空特性较强的业务数据，可通过直连通信对外广播、组播，如车车协作、高精区域地图下载等，Uu 与 PC5 两者互补实现资源有效利用；三是提高 PC5 通信的可靠性，5G-V2X 支持 Uu 对 PC5 资源调度，保障拥塞情况下 PC5 直连通信的可靠性，满足自动驾驶安全可靠通信的需求。

4 5G 车联网蜂窝网络关键技术分析

第五代移动通信网络作为新一代的蜂窝网络技术，可满足超高速率、超低时延、高速移动、高能效和超高流量与连接数密度等多维能力指标。R15 版本作为 5G 的第一个基础版本主要实现 eMBB 场景，通过引入新型调制编码、大规模天线设计等技术，对网络的容量及带宽性能大幅提升。R16 版本引入 mini-slot、重复传输等特性增强了对低时延、高可靠的 uRLLC 业务场景的支持。R16 标准完成后，5G 蜂窝网已具备为车联网提供超高可靠、超低时延、超大带宽的网络能力，

满足智慧交通与自动驾驶中车辆、行人、路侧设备、平台的连接需求。

4.1 eMBB

车联网业务中的部分信息服务类业务及安全驾驶类涉及视频回传的场景对速率的要求较高，例如远程软件升级要求下行速率大于500Mbps，上行速率大于200Mbps。因此，网络需要在保证一定可靠性和时延的同时，提供大带宽的能力。5G增强移动宽带场景(eMBB)对信道编码重新设计，引入大规模天线、超密集组网等关键技术，以提高频谱效率并提升系统容量，可满足车联网信息服务类场景的高速率的需求。

- 大规模天线设计：在基站端采用大规模天线阵列同时服务大量的终端，可支持配置上百根和十线端口的大规模天阵列，并通过多用户 MIMO 技术，支持更多用户的空间复用传输，提升 5G 系统频谱效率及能效，用于在用户密集的高容量场景提升用户体验。配置了大规模天线阵列的基站，可以通过混合波束成形，产生具有指向性的波束以增强方信号和幅度，获得赋形增益以提升小区覆盖。
- 新型调制编码：5G NR 控制消息和广播信道采用 Polar 码，数据采用 LDPC 码的方案，LDPC 码和 Polar 码可以为 5G 提供不同性能需求的多样化业务和部署场景下的可靠传输，并提升频谱效率。
- 超密集组网：超密集组网通过大量装配无线设备，可实现极高的频率复用。与传统组网方式相比，超密集组网频谱利用率更高，系统容量更大，在热点地区系统容量获得几百倍的提升。同时，在超密集组网中，可以利用微小区对边缘、阴影地区实现无缝覆盖，改善用户体验。

4.2 uRLLC

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20ms，可靠性大于99.999%。因此，网络需要提供大带宽、低时延、高可靠性的能力，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^[10]。

4.2.1 大上行使能技术

为满足行业客户对上行峰值速率、上行容量、上行边缘速率的高要求，5G 行业网可引入3U1D 帧结构、上行载波聚合、补充上行（SUL，Supplementary Uplink）技术等三种增强技术。

- 灵活帧结构设计：行业网可按需采用上行时隙配比多的帧结构。以中国移动为例，行业网如采用3U1D1S 帧结构，上行资源较公网典型配置增加3 倍，可显著提升网络的上行速率和上行容量，现网实测单载波上行峰值可达747Mbps。
- 载波聚合：是4/5G 增强技术之一，通过将多个载波聚合起来同时传输，大幅提升上下行性能。CA 包括频带内和频带间，R16 协议进一步增强，支持非同步的载波间聚合和终端1T 到2T 间的天线轮发。以中国移动为例，2.6GHz 频段共有160MHz 带宽，两载波聚合上行理论峰值速率可达400Mbps，2.6G+4.9G 跨频段载波聚合上行理论峰值速率可达500Mbps，通过更多频段的载波聚合还可进一步提升性能。
- SUL技术：5G 网络基础覆盖采用中高频段，可能出现上行覆盖和速率受限的问题，通过SUL 技术可以实现上下行频率解耦，充分利用存量低频率频谱资源，有效提升上行边缘速率，通过引入新的全上行频段，还可大幅提升上行峰值和小区容量。

4.2.2 低时延使能技术

针对URLLC 场景，协议引入了mini-slot、免调度、增强的设备能力、URLLC业务抢占等一系列增强技术。此外还可针对业务需求，进行帧结构、SR 周期等算法参数和功能开关的联动配置，通过多种技术的灵活组合，形成分级的空口时延能力。

- Minislot：将调度最小颗粒度从slot 级（14 个符号）缩短至符号级（2.4.7 等），缩短调度/反馈时延；
- 免调度：当用户有上行数据包到达时，不经过SR-UL grant 的过程，直接

在基站预先分配好的资源上进行传输。需要RRC 信令或者RRC+DCI 参与，类似于SPS。

- 增强的设备能力：NR 中定义了增强的终端能力（capability2）。能力2的终端支持更短的PDSCH 处理时延与PUSCH 准备时延，进一步缩短用户面时延。
- URLLC抢占：URLLC 的业务来包后需要根据对应的时延要求马上进行调度，且调度的单位为Minislot。如果此时URLLC 需要的频域资源和已经传输的另一个UE 的eMBB业务资源冲突，为了保证URLLC 的高可靠需要占用这些资源。占用的资源会通过位图的方式指示给eMBB 终端，用于eMBB UE 的正常的译码和HARQ 流程处理。

4.2.3 超高可靠使能技术

为了提高可靠性，5G 空口进行了一系列增强设计，以冗余资源换取高可靠性。物理层通过引入控制信道增强、低CQI/MCS 表格、重复传输等技术提高了调制解调的容错性和数据传输的可靠性，PDCP 层通过引入PDCP 复制等技术提高数据的冗余，从而提高数据传输的可靠性。

- 控制信道增强：为了提高控制信道的可靠性，PDCCH 可采用更大的聚合等级，如支持聚合等级16、PUCCH 可支持长格式，如支持format 1 等，通过用更多的资源传输控制信息，降低其码率，从而提高可靠性。
- 低码率传输：为了实现URLLC 高可靠性，数据信道适合使用更低阶的MCS 进行传输，因此定义针对URLLC 的低码率MCS/CQI 表。
- 重复传输：NR 定义了多时隙PDSCH 传输，根据RRC 信令配置，一个TB 可以在连续的多个时隙上使用相同的时域资源分配方案进行重复传输；PUSCH 支持重复传输，RRC 信令可以配置传输的TB 重复次数K 和重复的RV。NR 支持无需等待A/N，UE 直接重复传输K 次{1, 2, 4, 8}，可以使用RV 版本{0, 2, 3, 1} {0, 3, 0, 3} {0, 0, 0, 0}。NR PUCCH 格式1/3/4 支持在N 个时隙上重复传输UCI，N 可以从1、2、4、8 中配置，每个时隙内的PUCCH 的起始符号位置和时域。
- PDCP复制：在CA 或DC 模式下，NR 支持通过PDCP duplication 的方式进

行数据传输可靠性增强；通过建立2 条冗余传输路径，该两条路径分别与不同的小区组或者子载波绑定的方式实现；

4.3 切片技术

5G 端到端网络切片可将网络资源灵活分配，基于 5G 网络虚拟出多个具有不同特点且互相隔离的逻辑子网，每个端到端网络切片均由无线网、传输网、核心网子切片组合而成，并通过端到端切片管理系统进行统一的管理，切片可满足不同业务 SLA(服务等级协议)服务质量要求。核心网网络切片实例包括控制面和用户面网络功能。网络可以经由 5G-AN 同时为一个 UE 提供一个或多个网络切片实例。S-NSSAI 标识网络切片，S-NSSAI 由切片/服务类型（SST）和切片区分标识（SD）组成。标准化的 SST 值为建立切片的全局互操作性提供了一种方法，下表是标准化的 SST 值。

表1 标准化的 SST 值

切片类型	SST 值	特性
eMBB	1	切片适用于处理 5G 增强型移动宽带
URLLC	2	切片适用于处理超可靠的低延迟通信
MIoT	3	切片适用于处理大规模物联网
V2X	4	切片适合处理 V2X 服务

车联网业务中，对于传输数据量大，且时延要求不高的应用，切片类型可使用 SST 值为 1 的 eMBB 模板，应用可集中部署；对于超低时延、高可靠小数据包消息的应用，切片类型可使用 SST 值为 4 的 V2X 模板，应用下沉至本地部署，满足高可靠性要求。无线、传输网及核心网切片共同构成车联网端到端切片方案，不同的切片可满足不同车联网业务的性能要求及隔离要求。

无线切片隔离方案主要实现网络切片在 NR RAN 部分的资源隔离和保障。根据业务的时延，可靠性，和隔离要求，可以分为切片级 QoS 保障、空口动态预留、静态预留。基于 QoS 的调度，可以确保在资源有限的情况下，不同业务“按需定制”，为业务提供差异化服务质量的网络服务。RB 资源预留，允许多个切片共用同一个小区的 RB 资源。根据各切片的资源需求，为特定切片预留分配一定量 RB 资源。RB 预留分为静态预留和动态共享。载波隔离指不同切片使用不同的载波小区，每个切片仅使用本小区的空口资源，切片间严格区分确保各自资源。

RAN 与 CN 之间的移动传输网络根据对切片安全和可靠性不同诉求，分为硬隔离和软隔离，根据业务要求隔离度、时延和可靠性不同需求，传输承载技术包括：FlexE/MTN 接口隔离、MTN 交叉隔离和 VPN+QoS 隔离不同技术。

核心网切片隔离方案主要实现网络切片在 5G CORE 部分的资源和组网隔离与 SLA 保障。其中资源视图主要针对为切片隔离分配的 5G 核心网硬件资源层、虚拟资源层和网元功能层。硬件资源层、虚拟资源池可支持“共享”和“独占”两种隔离模式，其中独占模式也就是我们常说的“物理隔离”；网元功能层同样可以支持不同层级的按需隔离模式，包括完全共享模式、部分独占模式、完全独占模式保证不同切片间的业务独立性^[11]。

4.4 边缘计算

边缘计算使运营商和第三方服务可以部署在 UE 的接入点附近，从而减少端到端时延并降低传输网上的负载。5G 核心网选择一个靠近 UE 的 UPF，基于 UE 的订阅数据、UE 位置、来自应用功能（AF）的信息、策略或其他相关流量规则执行从 UPF 到本地数据网络的流量控制。由于用户或 AF 具有移动性，应用对会话或服务的连续性提出要求。5G 核心网会向边缘计算应用功能进行网络信息和功能开放。

对于车联网业务，MEC 的部署组网策略需根据业务的时延要求和业务属性，以及运营商的实际网络部署来决定。对于端到端时延要求低于 20ms 的应用场景，MEC 应部署在基站侧，时延 $\leq 5\text{ms}$ ，但覆盖范围有限，单用户成本较高。对于端到端时延在 100ms 以内的应用场景，MEC 可部署在接入环、汇聚环和核心环。部署在接入环，时延 16ms 至 24ms，覆盖范围有提升，部署成本高，电信机房改动量大。部署在汇聚环和传输核心层，时延 22ms 至 42ms，但覆盖用户数较多，成本较低。

4.5 业务连续性

5G 系统架构支持会话和服务连续性，可处理 UE 不同应用程序/服务的各种连续性要求。5G 系统支持不同的会话和服务连续性（SSC）模式，提供三种 SSC

模式，与 PDU 会话关联的 SSC 模式在 PDU 会话的生存期内不变。

SSC 模式 1，网络保留提供给 UE 的连接服务。

SSC 模式 2，网络可以释放分配给 UE 的连接服务，并释放相应的 PDU 会话。

在 SSC 模式 3 下，UE 可以看到用户面的更改，同时网络可以确保 UE 不断开连接。在终止之前的连接之前，将通过新的 PDU 会话锚点建立新连接，以实现服务连续性。

车联网应用场景中，由于信息服务类对时延要求不高，可采用 SSC mode1 的连续性方式，使用大区集中部署的 UPF，在满足时延要求情况下，减少会话的重建过程，同时保持会话和业务的连续性；对于具有低时延需求的安全驾驶类和驾驶效率类场景，可通过上层应用侧结合网络侧 SSC mode2/3 能力来解决移动性和低时延业务的连续性，网络侧和应用侧之间的协同机制来加快和优化应用跨 MEC 的切换处理，以满足低时延、空间无限移动的业务场景需求。

4.6 QoS 管理

QoS 管理通常作用在 V2X 资源分配、拥塞控制、设备间共存以及功率控制等流程中。与 QoS 管理相关的物理层参数包括数据的优先级、时延、可靠性和最小所需通信范围（由高层确定）等。

Rel-16 NR-V2X 支持 QoS 管理，支持信道参数（如 CBR、CR）的测量和上报，在优化资源分配、拥塞控制、设备间共存以及功率控制等流程方面起到重要的作用。

4.7 网络能力开放

网络能力开放功能模块（NEF）支持网络功能向外部开放。网络能力开放包含监控能力、信息提供能力、策略控制/计费能力和分析报告能力。监控能力用于监控 5G 系统中 UE 的特定事件，此类监控事件信息通过 NEF 向外部开放。信息提供能力允许外部向 5G 系统中提供 UE 的信息。策略控制/计费能力用于处理外部方对 UE QoS 和计费策略的请求。分析报告功能允许外部方获取或订阅/取消订阅 5G 系统生成的分析信息。

5G 网络能力开放一方面可使得车联网应用获得高性能，如时延保证何高可

靠保证；另一方面部署的车联网应用可更便捷利用网络运行信息，例如网络提供的车联网用户移动轨迹、小区负载等信息，提升车联网服务的体验。

4.8 网络数据分析服务

网络数据分析服务主要基于核心网中的 NWDAF（网络数据分析功能）模块实现。分析信息既可以是过去事件的统计信息，也可以是预测信息。数据的使用者（即 5GC NF 和 OAM）决定如何使用 NWDAF 提供的数据分析。

NWDAF 可以对网络信息提供分析服务。NWDAF 还可以对观测到的服务体验相关数据、网元负载、网络性能、用户数据拥塞情况、QoS 持续性进行行分析，可为每一种信息进行信息统计和信息预测。NWDAF 还可以提供 UE 信息分析服务，包括 UE 的移动性分析、UE 通信分析、预期的 UE 行为参数相关的网络数据分析、与异常行为相关的网络数据分析。

车联网应用可以从 NWDAF 订阅网络性能预测信息并基于预测进行应用层的调整。车辆即将经过的基站的网络性能（例如 QoS 信息、业务负荷）预测对提高车联网的服务质量有着重要作用，可根据 QoS 预测选择不同的驾驶等级，例如车联网服务器可以基于网络性能的预测信息判断是否继续保持无人驾驶模式，远程驾驶是否需要切换至人工驾驶模式；信息服务类应用判断是否预先下载地图或导航数据；根据网络负载的预测选择流量的传输时机。

5 NR PC5 直连通信关键技术分析

5.1 直连通信单播和组播

不同于 LTE-V2X 接入层仅支持广播传输，NR-V2X 接入层支持直连通信链路（SL）广播、单播和组播传输，可用于基站覆盖范围内、基站覆盖范围外以及基站部分覆盖场景中的 V2X 通信。一个特定的数据包采用单播、组播或是广播传输，是由高层决定的。

NR-V2X 引入直连通信链路单播、组播以及相应的反馈机制，主要是为了提高物理层传输的可靠性，相比于广播，一定程度上也可以提升资源利用率。

5.2 直连通信物理层结构

NR 直连通信链路的物理层结构参照了 NR Uu 物理层结构的设计。

NR-V2X 引入了专门的物理直通链路反馈信道（PSFCH），可以承载单播和组播传输的 HARQ 反馈信息，从而更好地支持直连通信链路单播和组播传输。

此外，相比于 LTE-V2X，NR-V2X 在参考信号方面也做了增强，在 FR2 引入相位追踪参考信号 PT-RS 可以更好地支持高频段通信。

同时，引入信道状态信息参考信号（CSI-RS）可以支持直连通信链路 CSI 测量和反馈，从而支持调制编码方案（MCS）和秩（Rank）的自适应调整，进一步提升传输可靠性和频谱效率。

与 NR Uu 相比，NR SL 支持时域密度更高的 DM-RS 传输（PSSCH DM-RS 1 个时隙最高可达 4 个符号），能够有效支持高速场景下的通信。

NR 直连通信链路支持 15kHz、30kHz、60kHz 以及 120kHz 子载波间隔（SCS），可以满足不同业务类型、频段、移动速度等对 SCS 不同需求，较大的 SCS 可以更好地支持低时延、高频段以及高速场景下的传输。

5.3 直连通信 CSI 测量

在单播传输时，发送 UE 可以配置接收 UE 进行非周期性的 CSI 报告。具体地，发送 UE 发送 CSI-RS 并在直连控制信息（SCI）中指示接收 UE 进行 CSI 测量，接收 UE 基于收到的直连通信链路 CSI-RS 计算信道质量指示（CQI）和秩指示（RI），然后通过 MAC 层信令向发送 UE 报告 CQI 和 RI，从而实现直连通信链路 MCS 和 Rank 的自适应调整，进一步提升传输可靠性和频谱效率。

5.4 直连通信 HARQ

为了实现 NR 直连通信链路单播和组播的可靠传输，NR-V2X 引入了 HARQ 机制，接收 UE 可以根据是否成功接收数据包向发送 UE 反馈 ACK/NACK 信息，并且引入了 PSFCH，可以用于承载 HARQ 反馈信息。针对组播，NR-V2X 还支持 NACK-only 的 HARQ 机制，即组播用户中没有正确接收到数据包，需要反馈 NACK 信息，

而正确接收到数据包的用户则不需要发送 ACK 信息。

NR-V2X 引入直连通信 HARQ 机制，可以提升直连通信单播和组播传输的可靠性，并且支持将直连通信 HARQ 信息反馈给基站，从而辅助基站优化直连通信资源分配和可靠调度。

5.5 直连通信同步

NR 直连通信链路同步信号（SLSS）包括主同步信号 S-PSS 和辅同步信号 S-SSS，与 PSBCH 一起组成同步信号块（SSB），其结构和序列延用了 NR Uu 同步信号块的设计，子载波间隔支持 15kHz、30kHz、60kHz 以及 120kHz。与 LTE-V2X 类似，NR-V2X 支持四种同步源：全球导航卫星系统（GNSS）、基站（gNB/eNB）、同步 UE 以及 UE 内部时钟。

相比 LTE-V2X 直连通信同步，NR-V2X 主要在同步信号块的结构和序列方面做了改进，采用了 NR Uu 的参数集（numerology），较大的 SCS 可以更好地支持低时延、高频段以及高速场景下的同步。

5.6 直连通信资源分配

NR-V2X 支持两种资源分配模式，即基站调度模式（资源分配模式 1），基站为 UE 分配传输资源；UE 自选模式（资源分配模式 2），UE 自主选择传输资源。在资源分配模式 1 中，基站可通过动态授权或者配置授权的方式分配直连通信传输资源，并支持发端 UE 将收到的直连通信 HARQ 反馈信息转发给基站，从而实现可靠传输。在资源分配模式 2 中，将 LTE-V2X 采用的基于感知+预约的资源选择方式作为基线，在此基础上针对 NR-V2X 支持动态业务包传输等新特性进行了改进和增强。

相比 LTE-V2X 直连通信资源分配，NR-V2X 进行了一些改进和增强，例如引入 BWP 来支持不同的参数集，从而更好地支持不同类型的业务；资源分配模式 1 下支持将直连通信 HARQ 反馈信息转发给基站，从而优化基站调度和资源分配；资源分配模式 2 下支持资源重评估机制和抢占机制从而支持动态业务包传输并确保系统的传输可靠性。

LTE 网络和 5G 网络在未来很长一段时间内是要共存的，NR-V2X 和 LTE-V2X

的部署时间线也会有重叠，因此 Uu 支持不同无线接入技术（RAT）之间的互操作，LTE 蜂窝网络可以参与控制 NR 直连通信链路，NR 蜂窝网络同样可以参与控制 LTE 直连通信链路。

5.7 LTE-V2X 和 NR-V2X 共存

基于 5G 的车联网中，预计将有设备同时支持 LTE-V2X 和 NR-V2X，并可以在两个系统中同时运行。Rel-16 NR-V2X 支持与 LTE-V2X 共存，并且给出了冲突时的解决方案。当 NR-V2X 和 LTE-V2X 部署的频谱间隔临近时，直通链路需要遵循半双工原则，可以通过为 NR-V2X 和 LTE-V2X 直通链路（预）配置资源池来避免时域上的传输交叠；或者当 NR-V2X 和 LTE-V2X 同时执行发送或者接收时，通过优先级比较执行其中高优先级业务对应 RAT 的发送或者接收。

6 总结与展望

本白皮书结合车联网的发展趋势，从车联网增强的应用场景出发，介绍 5G 车联网 Uu 蜂窝网络与 PC5 直连通信协同的系统架构，对 5G-V2X 蜂窝网络以及直连通信新增的通信技术特性进行总结，并且分析其对 5G 车联网应用的提升，旨在呼吁产业界共同努力，促进 5G-V2X 技术演进与成熟，推动 5G 车联网应用快速落地。

当前，面向车联网应用的网络需求的不断增长，产业上下游需要提前在技术及规划上做好准备。演进的 5G 车联网应用场景分别对网络时延、通信速率、通信范围、可靠性、定位精度、业务连续性及平台等提出了新的需求。NR Uu 引入了 uRLLC 特性以提高业务可靠性降低时延。对于核心网，切片、边缘计算、业务连续性保障、业务能力开放、网络数据分析服务等关键技术可分级应用与灵活组合，实现对 5G 车联网应用提供不同级别的支持，满足多类型应用部署需求。在 3GPP R16 版本中，NR PC5 直连通信接口引入了单播与组播、CSI 测量、HARQ 等特性，优化物理层结构并支持同步、资源分配，有效提高了资源利用率，可以更好地支持业务的多样性以及低时延、高可靠性以及高速场景，并且支持 LTE-V2X 和 NR-V2X 共存。

从 LTE-V2X R14 演进到 5G-V2X R16, V2X 通过技术演进实现了应用场景的扩展, 从最初的信息服务阶段到辅助驾驶应用再到面向自动驾驶的高级应用。车联网产业发展是一个循序渐进的过程, 当前 LTE-V2X 产品经过多年的发展已成熟, 车企已纷纷发布搭载 LTE-V2X 技术的量产车型, 而 5G-V2X 产业成熟还需要一定周期。在应用的实现上, LTE-V2X 主要以基本安全类应用为主, 5G-V2X 则可支撑面向自动驾驶的高级应用。5G-V2X 是 LTE-V2X 技术增强和补充, 两者将在未来长期协同共存, 共同支撑车联网不同类型应用服务。

面向未来, 5G 车联网的发展需要通信、汽车、交通、公安等多行业的共同努力, 完善 5G-V2X 行标及跨行业标准制定, 提高核心技术及产品研发、验证上的能力, 推动车联网应用规模化部署。期待未来, 中国移动与产业界共同携手, 推动车联网尽快商用部署, 助力我国车联网行业取得更大的成功。

缩略语列表

3GPP	The 3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴项目
5GAA	5G Automotive Association	5G 汽车联盟
5GC	5G Core network	5G 核心网
AF	Application Function	应用功能
CAICV	China Industry Innovation Alliance for the Intelligent and Connected Vehicles	中国智能网联汽车产业创新联盟
CBR	Channel Busy Rate	信道忙闲率
CCSA	China Communications Standards Association	中国通信标准化协会
C-ITS	China ITS Industry Alliance	中国智能交通产业联盟
CQI	Channel Quality Indicator	信道质量指示
CR	Channel Rate	信道占用率
CSI	Channel State Information	信道状态信息
CSI-RS	Channel State Information Reference Signal	信道状态信息参考信号
C-V2X	Cellular Vehicle to Everything	蜂窝车联网
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest	混合自动重传请求
MCS	Modulation and Coding Scheme	调制编码方案
MEC	Mobile Edge Computing	移动边缘计算
NEF	Network Exposure Function	网络开放功能
NR	New Radio	新空口技术
NWDAF	Network Data Analytics Function	网络数据分析功能
PDCCH	Physical Downlink Control Channel	下行控制信道
PQI	PC5 QoS Indicator	PC5 QoS 指示

PSFCH	Physical Sidelink Feedback Channel	物理直通链路反馈信道
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel	物理上行共享信道
RAT	Radio Access Technology	无线接入技术
RI	Rank Indicator	秩指示
SCI	Sidelink Control Information	直通链路控制信息
SD	Slice Differentiator	切片差分器
SLA	Service Level Agreement	服务等级协议
SLSS	Sidelink Synchronization signal	直通链路同步信号
S-NSSAI	Single Network Slice Selection Assistance Information	标识网络切片
SSB	Synchronization Signal Block	同步信号块
SSC	Session and Service Continuity	业务连续性
SST	Slice/Service type	切片/服务类型
UCI	Uplink Control Information	上行控制信息

参考文献

- [1] 5GAA, C-V2X Roadmap White Paper.
- [2] C-SAE, 《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（第二阶段）》
- [3] IMT-2020 (5G) 推进组, 《C-V2X 业务演进白皮书》
- [4] 5GAA, C-V2X Use Cases and Service Level Requirements Volume II
- [5] 3GPP TS37.910-g10, Study on self evaluation towards IMT-2020 submission
- [6] 3GPP TR38.855-g00, Study on NR positioning support
- [7] 3GPP TR38.824-g00, Study on physical layer enhancements for NR ultra-reliable and low latency case (uRLLC)

- [8] 3GPP TR 38.885: Study on NR Vehicle-to-Everything (V2X).
- [9] 3GPP TR 36.885: Study on LTE-based V2X Services.
- [10] 中国移动等. 《面向 URLLC 场景的无线网络能力白皮书》
- [11] 中国移动等. 《5G 网络切片分级白皮书》