



专题：智能网联汽车

面向蜂窝车联网的直连通信技术增强及标准化演进

赵锐^{1,2}, 温小然^{1,2}, 郑石磊^{1,2}, 周晓星^{1,2}, 习一凡^{1,2}, 刘艳强^{1,2}, 胡金玲^{1,2}

(1. 中信科智联科技有限公司, 北京 100029;

2. 移动通信及车联网国家工程研究中心, 北京 100191)

摘要: 随着智能交通系统的快速发展, 面向蜂窝车联网 (cellular vehicle-to-everything, C-V2X) 的直连通信技术已成为实现车辆间、车辆与基础设施间以及车辆与行人间通信的关键。第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 目前已经完成了对直连通信增强技术的研究, 旨在适应车联网服务的多元化需求, 并且正在积极推进通信感知一体化 (integrated sensing and communication, ISAC)、人工智能/机器学习 (artificial intelligence/machine learning, AI/ML) 等6G演进技术的研究和标准化工作。首先介绍了蜂窝车联网直连通信技术的发展趋势, 进而探讨了3GPP R18直连通信技术的关键演进方向, 最后结合3GPP R19中6G前瞻性技术的研究方向, 对蜂窝车联网的未来标准发展方向进行展望。

关键词: 蜂窝车联网; 非授权频段直连通信; 直通链路定位; 通信感知一体化; 人工智能/机器学习

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2024246

Sidelink communication technology enhancement and standardization evolution for C-V2X

ZHAO Rui^{1,2}, WEN Xiaoran^{1,2}, ZHENG Shilei^{1,2}, ZHOU Xiaoxing^{1,2},

XI Yifan^{1,2}, LIU Yanqiang^{1,2}, HU Jinling^{1,2}

1. CICT Connected and Intelligent Technologies Co., Ltd., Beijing 100029, China

2. National Engineering Research Center of Mobile Communications and Vehicular Networks, Beijing 100191, China

Abstract: With the rapid development of intelligent transportation systems, sidelink communication technology for cellular vehicle-to-everything (C-V2X) has become the key technology to enable vehicle-to-vehicle, vehicle-to-infrastructure, and vehicle-to-pedestrian communications. 3rd Generation Partnership Project (3GPP) has finished research on sidelink communication technology enhancement, aiming to meet the diverse needs of V2X services, and is actively advancing research and standardization on 6G evolution technologies such as integrated sensing and communication (ISAC), artificial intelligence and machine learning (AI/ML). The development trends of sidelink communi-

收稿日期: 2024-09-10; 修回日期: 2024-11-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.62341108)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No.62341108)



cation technology in C-V2X were firstly introduced. Then, the key evolution points of 3GPP Release 18 sidelink communication technology were discussed. Finally, considering the research on 6G technology in 3GPP Release 19, a perspective on the standard future development direction of C-V2X was provided.

Key words: C-V2X, sidelink unlicensed, sidelink positioning, ISAC, AI/ML

0 引言

蜂窝车联网（cellular vehicle-to-everything, C-V2X）技术是基于蜂窝网通信技术演进而形成的新一代车联网技术，作为通信、汽车和交通等领域深度融合的信息通信技术，其已发展成为汽车和通信领域的热门研究方向。C-V2X将“人、车、路、云”等交通参与要素有机地联系起来，通过高效准确的通信，不仅能够获得比单车智能更广泛和更精确的感知信息，推动自动驾驶技术创新和应用，还有助于构建智慧的交通体系，促进汽车和交通服务新模式的发展，对提升道路安全和交通效率、降低能耗以及提高交通管理水平具有重要意义^[1]。

自2015年以来，第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）开展了C-V2X的全球标准化研究工作，包括基于长期演进（long term evolution, LTE）技术的蜂窝车联网（LTE-V2X）和基于5G新空口（new radio, NR）技术的蜂窝车联网（NR-V2X）两个阶段。3GPP的C-V2X标准演进过程如图1所示。

第一阶段的LTE-V2X主要承载基本交通安全类业务和效率类业务，在采用PC5接口的终端直通链路通信方式中，它提供了一种高效感知和资源预留结合的多点对多点信道接入机制，以实现低时延、高可靠的直通信，相关标准已于2018年完成^[2]。

第二阶段的NR-V2X主要面向传感器共享、车辆编队、增强自动驾驶等V2X增强应用。NR-V2X的第1个版本Release 16（R16）于2020年6月完成，该版本在直通链路上引入高阶调制和多天线传输机制来提高传输速率；引入混合自动重传请求（hybrid automatic repeat request, HARQ）反馈来提高传输可靠性；针对增强V2X应用的业务特征，在LTE-V2X资源选择机制的基础上进一步引入了资源重评估和抢占机制，降低了资源冲突并提高了可靠性，同时支持了LTE-V2X和NR-V2X设备内共存的机制，为LTE-V2X和NR-V2X相互协作提供了基础^[3]。在R17 NR-V2X增强的设计中，一方面，为了更好地支持有节电要求的弱势道路参与者应用，引入了直通链路的节电机制，包括基于部分感知的资源选择机制和直通链路非连续接收机制；另一方面，为了进一步提高传输的可靠性，引入了终端间感知结果交互的资源协调机制，有效避免了资源的冲突^[4]。为了进一步拓展NR-V2X技术的应用场景，以及考虑各国对于C-V2X频谱潜在的分配情况，R18 NR-V2X技术主要考虑从以下3个方面进行技术演进^[5-6]。

（1）针对智能家居、可穿戴设备、扩展现实（extended reality, XR）等众多商业场景的应用，NR-V2X技术在非授权频段以及毫米波频段的演进。

2015年				2016年				2017年				2018年				2019年				2020年				2021年				2022年				2023年				2024年				
Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4			
RAN#68启动LTE-V2X 技术研究和标准化工作								RAN#75启动LTE-V2X 演进的标准化工作								RAN#80启动NR-V2X 技术研究和标准化工作								RAN#88e启动NR SL 增强标准化工作								RAN#95e启动NR SL 演进标准化工作								
R14 LTE-V2X 研究项目+工作项目								R15 LTE-cV2X 工作项目								R16 NR 研究项目+工作项目								R17 SL Enhancement工作项目								R18 SL Evolution工作项目 R18 NR Positioning Enhancement工作项目								R19 工作项目
LTE-V2X演进																NR-V2X演进																								

图1 3GPP的C-V2X标准演进过程

(2) 针对各地区的 C-V2X 的频谱分配情况, NR-V2X 引入直通链路载波聚合, 以及与 LTE-V2X 同信道共存机制。

(3) 针对无蜂窝网络覆盖、无全球卫星导航系统 (global navigation satellite system, GNSS) 信号下的定位困难问题, NR-V2X 引入直通链路定位技术。

本文针对上述 NR-V2X 的演进方向, 首先介绍了 3GPP R18 NR-V2X 演进的关键技术, 包括非授权频段的直连通信 (sidelink unlicensed, SL-U)、毫米波频段的直连通信 (sidelink frequency range 2, SL-FR2)、NR-V2X 与 LTE-V2X 同信道共存等机制。其次介绍了基于 NR-V2X 的直通链路定位技术。最后结合 3GPP R19 中面向 6G 的通信与感知融合和空口人工智能技术的研究^[7-8], 对车联网技术的后续演进方向进行了展望。

1 NR-V2X 演进关键技术

在 3GPP R18 NR-V2X 演进的研究中, 主要聚焦于直通链路的新应用场景、各地区对 C-V2X 的频谱规划, 以及无蜂窝网络覆盖或无 GNSS 信号情况下的定位等问题, 研究内容主要包括非授权频段的直连通信、毫米波频段的直连通信、NR-V2X 与 LTE-V2X 同信道共存、载波聚合技术和直通链路定位技术。其中, R18 直通链路载波聚合技术仅支持每个载波上的独立操作, 并重用了 R15 LTE-V2X 的设计思路, 因此本文未对其展开描述。

1.1 非授权频段的直连通信

在非授权频段上的通信需要满足各地区对于非授权频段的法规要求, 包括射频技术要求和干扰规避技术要求等^[9-11]。R18 SL-U 项目的研究聚焦于信道接入机制的设计和直通链路物理信道结构的设计^[5]。

1.1.1 信道接入机制

非授权频段上的信道接入过程是一种基于信道监听来评估传输信道可用性的过程。在这个过

程中, 使用长度为 $T_{sl}=9\ \mu\text{s}$ 的感知时隙 (sensing slot) 作为监听的基本时间单元, 如果用户设备 (user equipment, UE) 监听到一个感知时隙内至少有 $4\ \mu\text{s}$ 的检测能量低于能量检测阈值 X_{Thresh} , 则认为该感知时隙空闲, 否则认为该感知时隙忙。根据使用场景的不同, SL-U 的信道接入机制又分为 Type 1 信道接入和 Type 2 信道接入。

Type 1 信道接入机制如图 2 所示, 该机制主要用于 UE 发起一段信道占用的情况, UE 首先根据自身传输的信道接入优先级 (channel access priority class, CAPC) 值, 确定竞争窗口大小 CW_p ($CW_{\min,p} \leq CW_p \leq CW_{\max,p}$), 并在 0 到 CW_p 之间随机确定一个计数器的值 N ; 随后 UE 持续对信道进行监听, 如果在一个回退时间 T_d ($T_d = T_f + m_p \times T_{sl}$) 内检测到信道空闲, 则将计数器 N 的值减 1。如果计数器 N 的值减为 0, 则 UE 认为该信道空闲, 可以进行传输 (transmit, TX)。其中, $T_f = 16\ \mu\text{s}$, 包括一个位于起始位置的 T_{sl} , m_p 为 T_f 之后的 T_{sl} 个数。直通链路信道接入优先级见表 1, m_p 、 $CW_{\min,p}$ 、 $CW_{\max,p}$ 以及最大信道占用时间 $T_{slm\ cot,p}$ 基于表 1 确定。

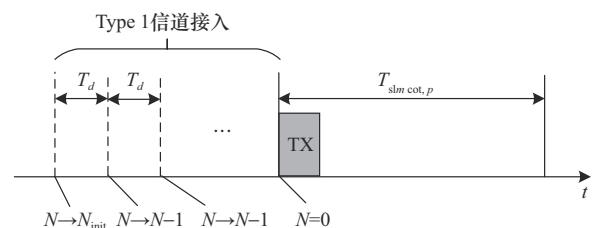


图 2 Type 1 信道接入机制

UE 在完成了 Type 1 信道接入之后, 即获得了时长为 $T_{slm\ cot,p}$ 的信道占用时间 (channel occupied time, COT)。UE 除了可以使用 COT 发送自身的传输, 还可以通过在直通链路控制信息 (sidelink control information, SCI) 中携带 COT 共享信息, 将获得的信道占用时间共享给其他 UE 使用。其他 UE 在收到 COT 共享信息之后, 如果满足使用 COT 的条件, 则可以在剩余 COT 时



表1 直通链路信道接入优先级^[12]

信道接入优先级 (p)	m_p	$CW_{\min, p}$	$CW_{\max, p}$	$T_{slm\ cot, p}/ms$	允许的 CW_p 大小
1	2	3	7	2	{3,7}
2	2	7	15	4	{7,15}
3	3	15	1 023	6或10	{15,31,63,127,255,511,1 023}
4	7	15	1 023	6或10	{15,31,63,127,255,511,1 023}

长范围内，使用 Type 2 信道接入方式接入信道。Type 2 信道接入机制如图3所示，主要用于UE在共享的信道占用时间内进行传输的情况，根据与先前传输的间隔不同，UE可以通过进行一段25 μ s或16 μ s的信道监听来确认信道的可用性，并在信道可用时进行传输。COT共享机制有利于减少信道接入时延，提高信道资源的利用率，从而提升非授权频段直连通信的性能。

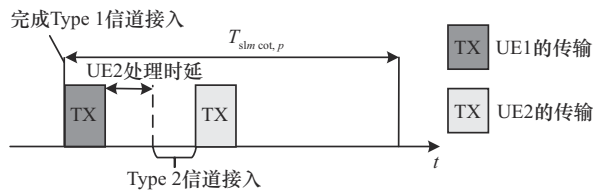


图3 Type 2信道接入机制

1.1.2 物理信道结构

为了保证频谱资源的利用效率，多个国家和地区在法规中明确要求工作在非授权频段的设备需要满足占用信道带宽（occupied channel bandwidth, OCB）的限制，即传输占用的带宽需要大于或等于信道总带宽的80%^[11]。然而，在R16/R17 NR 直通链路（sidelink, SL）物理层结构的设计中，传输采用的是子信道范围内频域连续的物理资源块（physical resource block, PRB），难以满足OCB的要求。因此，针对非授权频段的直连通信技术，除了支持原有NR SL基于连续PRB的传输方式，还额外引入了梳齿资源块（interlaced resource block, IRB）结构。

CRB和IRB的对应关系（ $M=5$ ）如图4所示，IRB由多个等间隔的通用资源块（common resource block, CRB）组成，索引为 m 的IRB包含的CRB的索引为 $\{m, M+m, 2M+m, 3M+m, \dots\}$ ，其中 $m \in \{0, 1, \dots, M-1\}$ ， M 即IRB的个数。针对15 kHz和30 kHz子载波间隔， M 分别取值10和5。IRB结构通过将资源块离散放置，增加了单次传输占用的带宽范围，从而满足了OCB的要求。

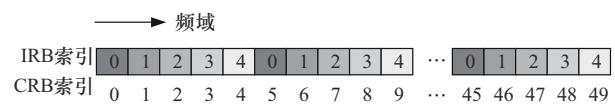


图4 CRB和IRB的对应关系($M=5$)

在R16/R17 NR SL中，传输资源均是在资源池中确定的，资源分配的最小粒度是定义在资源池内的子信道，每个子信道又包含多个连续的PRB，而在非授权频段，信道接入都是以RB set为粒度执行的，不同RB set由保护带宽隔开。为了适应非授权频段信道接入机制的要求，并尽可能重用R16/R17 NR SL的物理层结构，SL-U的物理信道结构保留了RB set的概念，并且融合了NR SL资源池和子信道的定义，资源池、RB set、子信道和IRB之间的对应关系如图5所示。SL资源池可以包含一个或者多个RB set，子信道从原有的定义在资源池范围内变为定义在一个RB set内，且在不同的RB set内周期的编号。1个子信道可以包含1个IRB或者2个连续的IRB。

除了需要满足OCB的限制，在物理信道结构

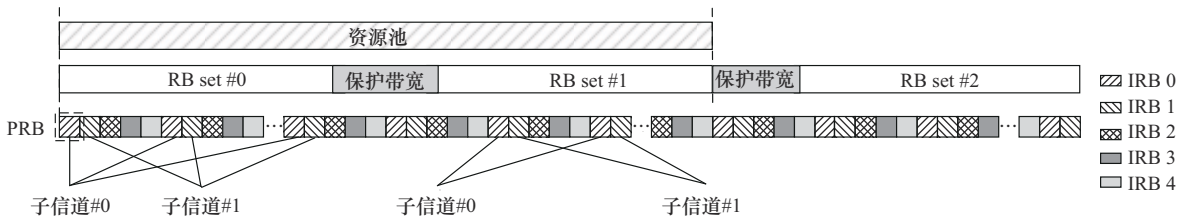


图5 资源池、RB set、子信道和IRB之间的对应关系

的设计中还需要考虑信道接入带来的影响，由于 Type 1 信道接入的结束时间具有不确定性，原有的时隙粒度的物理直通链路控制信道（physical sidelink control channel, PSCCH）/物理直通链路共享信道（physical sidelink shared channel, PSSCH）传输可能会降低信道接入成功的可能性。因此，R18 SL-U 为 PSCCH/PSSCH 传输引入了两个候选起始符号的结构。

两个候选起始符号的配置如图6所示，第1个候选起始符号可以（预）配置为{#0,#1,#2,#3,#4,#5,#6}，或者默认为符号#0。第2个候选起始符号可以（预）配置为{#3,#4,#5,#6,#7}，且需要保证第2个候选起始符号位于第1个起始符号之后。如果 UE 在第1个候选起始符号之前未能成功接入信道，则可以继续在第2个候选起始符号之前尝试进行信道接入。两个起始符号的结构极大地增加了 SL 传输成功接入信道的可能性，为非授权频段的直连通信提供了性能保障。

1.2 毫米波频段的直连通信

在 3GPP R18 之前，针对 C-V2X 技术的研究主要集中在 Sub-6 GHz 频段，然而随着 XR 业务的发展，以及面向自动驾驶多传感器数据（车载雷达、摄像头以及激光雷达等）的交互，要求直通链路通信提供更高的数据传输速率。由于 Sub-

6 GHz 频段频谱资源的稀缺，毫米波频段作为潜在的可以提供更大带宽的频谱资源，得到了学术界和产业界的密切关注。与 Sub-6 GHz 频段相比，毫米波频段波长小，路径损耗较大，导致传输距离有限，易受遮挡，因此，需要通过定向波束来进行数据传输^[13]。

3GPP 在 R18 NR-V2X 技术演进中开展了针对 FR2 频段（FR2-1 为 24.25~52.6 GHz，FR2-2 为 52.6~71 GHz）的研究工作，该工作称为 SL-FR2^[5]，主要关注直通链路通信的波束管理流程，包括初始波束配对、波束维护、波束失效恢复等机制，SL-FR2 的整体流程如图7所示。

1.2.1 初始波束配对

发送端在不同的波束方向上发送参考信号或信道，对整个区域进行扫描，接收端通过测量参考信号的能量来进行波束选择并完成配对，因此，参考信号或信道的选择是波束配对中的关键。初始波束配对过程中的参考信号或信道选择集中在现有的 SL 参考信号以及信道，如 SL 信道状态信息参考信号（channel-state information reference signal, CSI-RS）、解调参考信号（demodulation reference signal, DMRS）、PSCCH/PSSCH、SL 同步信号块等，同时也考虑设计专用于波束测量的参考信号或信道来提高初始波束



图6 两个候选起始符号的配置



配对的效率。此外，R18 SL波束管理仅研究SL单播下的运行机制，而SL单播建立过程是一个高层过程，与基站和UE之间的通信不同，不涉及参考信号的发送和测量。因此，还开展了单播建立与初始波束配对关系的研究，包括单播建立在初始波束配对过程之前/之中/之后，目前仅对这3种方案下的波束配对流程框架达成了一致意见，进一步的细节还需要继续讨论。

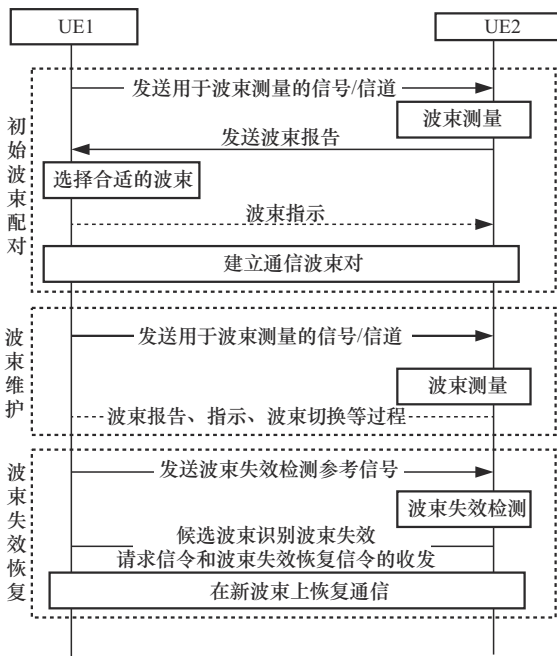


图7 SL-FR2的整体流程

1.2.2 波束维护

在建立初始波束对后，由于UE的自身移动以及外界环境的遮挡，之前建立的通信波束对的方向会发生变化，导致通信质量下降，因此需要在通信过程中评估发送波束和接收波束的链路质量。在研究过程中，针对SL波束维护参考信号的设计优先考虑SL CSI-RS，现有的SL CSI-RS主要用于信道质量测量，以非周期方式伴随PSSCH一起发送，无法独立传输。此外，CSI报告仅包含信道质量指示(channel quality indicator, CQI)和秩指示

(rank indication, RI)，没有涵盖与波束相关的信息。因此，需要对SL CSI-RS的物理层结构、时域传输特性进行增强。同时，还要对波束报告内容、承载方式以及波束指示等机制进行研究。

1.2.3 波束失效恢复

由于FR2频段的波束宽度较窄，波束故障很容易导致UE之间的链路中断。当通信波束对的链路质量下降到足够低(如参考信号接收功率低于阈值)时，会触发波束失效事件。对于SL波束失效恢复过程，首先需要进行波束失效检测，目前有两种备选机制：依赖于SL HARQ反馈在发送端检测(Scheme1)和通过测量参考信号在接收端检测(Scheme2)，之后进入波束失效恢复流程。波束失效恢复机制与波束失效检测的机制相关，如通过发送端检测的波束失效，需要触发接收端进行新的候选波束的识别，而通过接收端检测的波束失效，接收端则可以自己识别一个新的候选波束。标准化讨论主要围绕Scheme2展开，针对候选波束检测机制、波束失效恢复请求信令和波束失效恢复响应信令的承载方式等内容进行了讨论。

虽然引入定向波束通信可以增加SL在FR2通信中的传输范围，但在初始信道接入和波束成形过程中还会面临一些新的挑战^[4]：定向波束通信限制了终端的感知范围，从而引发感知盲区和资源碰撞的问题；在高速移动的V2X环境中，面临实时波束训练以及频繁切换波束的挑战；毫米波链路可能会被障碍物(如大型车辆或建筑物)阻挡，导致当前通信波束失效，进而使得信令和分组传输中断。因此，如何快速恢复FR2上的通信也是亟待解决的问题。

1.3 NR-V2X与LTE-V2X同信道共存

C-V2X技术包括LTE-V2X及其演进的NR-V2X。LTE-V2X主要面向基本道路安全类业务和交通效率类业务，NR-V2X则主要面向传感器共

享、车辆编队、增强自动驾驶等 V2X 增强应用，两种技术互补并且在未来一段时间内将长期共存。考虑各地区的 C-V2X 频谱规划现状，如美国将 5.895~5.925 GHz 共 30 MHz 频谱分配给 C-V2X 技术^[15]，如何缓解 LTE-V2X 和 NR-V2X 频谱资源受限，成为亟待解决的问题。

3GPP 在 R18 中引入了 LTE-V2X 和 NR-V2X 同信道共存的机制，用于缓解频谱资源受限的问题。在同信道共存机制中，最重要的问题是解决两种物理传输格式不兼容的通信方式之间的互干扰问题，主要包括两种技术方案：半静态时分资源池和动态资源池共享。

(1) 半静态时分资源池

该方案通过资源池配置，为 LTE-V2X 和 NR-V2X 配置不同的时隙或者子帧，使各自用于传输的资源池在时域上不发生重叠，从而避免 LTE-V2X 和 NR-V2X 同时传输导致的干扰。采用半静态时分资源池的方法处理简单，但是实际道路中支持 LTE-V2X 和 NR-V2X 的车辆移动导致的拓扑变化，会导致半静态划分的资源池的频谱资源与 LTE-V2X 和 NR-V2X 的业务需求不匹配，频谱利用率低。

(2) 动态资源池共享

动态资源池共享机制的设计准则是尽可能避免 NR-V2X 传输对 LTE-V2X 产生干扰。R18 NR-V2X 终端需要支持 LTE-V2X 的感知功能，从而避让 LTE-V2X 终端预约占用的资源。同时 LTE-V2X 的子载波间隔固定为 15 kHz，而 NR-V2X 支持 15 kHz 和 30 kHz。当 NR-V2X 采用 30 kHz 的子载波间隔时，1 个 LTE-V2X 子帧中包含 2 个 NR-V2X 时隙，如果 NR-V2X 仅在 1 个 LTE-V2X 子帧

的第 2 个时隙传输，可能会使 LTE-V2X 的接收在第 1 个时隙和第 1 个时隙的符号功率发生跳变，导致 LTE-V2X 的自动增益控制 (automatic gain control, AGC) 不匹配的问题。为了避免产生此问题，NR-V2X 在资源选择时需要至少选择 LTE-V2X 子帧内的第 1 个时隙上的资源。动态资源池共享的机制，在有效避免 LTE-V2X 和 NR-V2X 之间互干扰的情况下，动态调整各自占用的频谱资源大小，提高了频谱利用率，为 C-V2X 技术的平滑演进提供了基础。

1.4 基于 NR-V2X 的直通链路定位技术

考虑直连通信不受蜂窝网络和 GNSS 覆盖限制的特点，直通链路定位技术可以有效辅助车联网全场景定位。V2X 场景中车辆的定位精度取决于业务应用的需求，3GPP 将面向车联网应用的定位精度划分为 3 个等级，定位服务等级见表 2。

3GPP 在 R18 中基于 NR-V2X 开展直通链路定位技术的标准化工作，主要包括定位信令流程、定位方法、物理层结构设计以及资源分配等关键技术的研究。

1.4.1 直通链路定位流程

针对覆盖外场景，本文给出了一种完全仅基于 UE 进行定位的信令交互流程，直通链路定位信令流程如图 8 所示。该流程主要包括定位请求发起、UE 发现、能力交互、服务 UE 确定、辅助信息交互、位置信息交互、定位结果解算等。其中，整体定位流程由目标 UE 接收到定位请求信令后触发，服务 UE 的功能与覆盖内的位置管理功能类似，在整体定位交互过程中主要起到协调和管控的作用。定位过程中的任一个具备服务

表 2 定位服务等级^[16]

定位等级	水平定位精度/m	置信水平	应用分类
一级	3~50	68%~95%	信息服务类等对定位精度要求不高的应用
二级	1~3	95%~99%	安全预警、交通效率提升或动态交通管理等车道级定位的应用
三级	0.1~1	95%~99%	自动驾驶类或远程驾驶类等亚米级、厘米级定位需求的应用



UE能力的UE都可以成为服务UE，图8中的虚线部分交互内容为可选。

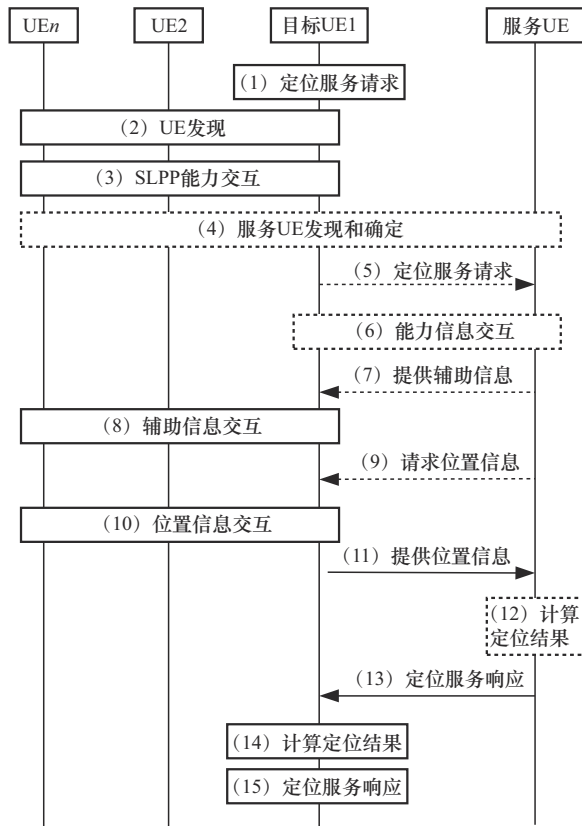


图8 直通链路定位信令流程

1.4.2 直通链路的定位方法

直通链路定位技术根据测量量和解算结果的不同，可分为绝对定位、相对定位和测距3种方式。其中定位的方法主要采用基于直通链路定位参考信号的往返时间（round-trip time, RTT）、到达角（angle of arrival, AOA）和到达时间差（time difference of arrival, TDOA）等传统定位技术。相应的基于直通链路定位信号的测量量应包含直通链路收发时间差、直通链路参考信号时间差（sidelink reference signal time difference, SL RSTD）、直通链路到达相对时间（sidelink relative time of arrival, SL RTOA）、直通链路到达角（sidelink angle of arrival, SL AOA）^[17]。例如，通过

TDOA方法进行定位时，由定位锚节点发送直通链路定位参考信号（sidelink positioning reference signal, SL-PRS），由目标节点执行SL RSTD定位测量，然后由服务UE结合SL RSTD测量量以及对应锚节点的位置坐标，对目标节点的位置信息进行求解。

1.4.3 物理层结构设计

对于新引入基于NR-V2X的直通链路定位特性，首先需要考虑与原NR-V2X直连通信之间的关系。直通链路定位与直连通信共享资源池可提升资源利用率，但存在干扰和兼容性问题，会限制定位精度。为直通链路定位引入专用资源池，需要引入全新物理层信道结构、物理层过程以及相应的资源分配机制，资源上与直连通信正交，有利于定位精度的提升。最终两种方式均被标准采纳，主要的原因在于二者各有利弊，专用资源池适用于定位需求较高的场景，通过牺牲资源利用率换取定位性能的提升，而共享资源池则更适用于定位需求较低的场景，虽然定位性能一般，但是有利于提升资源效率。如果一个UE被配置了两种资源池，具体使用哪种资源池执行定位取决于UE实现或者由5G基站（generation NodeB, gNB）配置。

共享资源池时隙结构如图9所示。为了最大限度保证直通链路定位与直连通信之间的兼容性，SL-PRS被限制只能从末尾符号向前连续映射在PSSCH上，具体由第2阶SCI调度，由PSCCH承载的第1阶SCI应该保持与原直连通信相同，以保证资源分配机制的兼容性。此外，还限制SL-PRS在映射时应该避开PSSCH DMRS资源、PSCCH资源、第2阶SCI资源、CSI-RS资源；SL-PRS的带宽与PSSCH保持相同，映射SL-PRS的符号与PSSCH符号仅能采用时分复用的方式。为了保证SL-PRS的发送能量，SL-PRS符号仅能用于映射SL-PRS，不能映射其他数据信息。在共享资源池中，SL-PRS资源映射除了

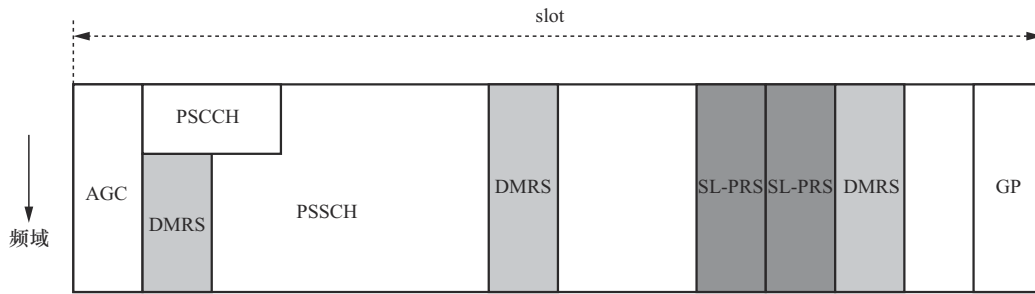


图9 共享资源池时隙结构

结合上述特征，还需要参考第2阶SCI中的SL-PRS资源标识信息、高层参数配置或预配置的SL-PRS资源标识关联的符号数以及频域图样配置信息。

专用资源池时隙结构如图10所示。专用资源池仅包括PSCCH和SL-PRS，二者映射时仅支持时分复用，并且重新设计了由PSCCH承载的第1阶SCI格式，以适配SL-PRS的调度。此外，专用资源池还引入了SL-PRS资源的概念，作为调度SL-PRS的基本资源粒度；专用资源池中每个时隙上的每个SL-PRS资源对应唯一1个SL-PRS资源标识，通过高层配置或预配置来确定每个SL-PRS资源标识在时隙上对应的符号数、符号位置以及频域图样等配置信息。为了保证定位精度，同时简化资源分配机制，SL-PRS的带宽与整个专用资源池相同。每个时隙上的PSCCH资源索引与该时隙上的对应SL-PRS资源标识一一关联，多余的PSCCH资源不可使用。专用资源池中，PSCCH时域占用每个时隙的前几个符号，具体符号数由高层配置或预配置，频域带宽小于或等于子信道带宽。不同UE的SL-PRS在同一个时隙内传输时可以采用资源元素（resource element, RE）级别的频分复用或者时分复用的方式。虽然支持同一时隙内的多用户复用，但受限于多用户PSCCH时域资源相同的特性，单个UE在一个时隙内仅能执行接收或者发送的单向操作。

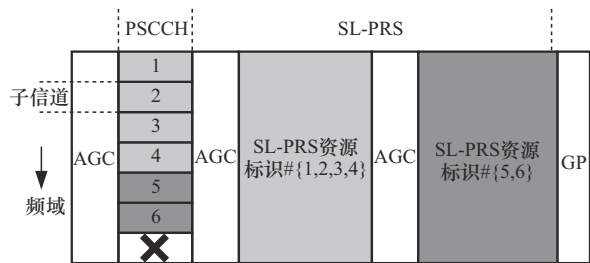


图10 专用资源池时隙结构

1.4.4 资源分配机制

基于NR-V2X的直通链路定位技术，其资源分配的整体设计思路与NR-V2X直连通信基本一致，同样包含基站调度和终端自主选择两种资源分配模式。

在共享资源池设计中，由于SL-PRS占用的资源完全限制在关联的PSSCH资源内，因此两种资源分配模式下基本可以完全重用R16/R17 NR-V2X的机制，而在专用资源池的设计中，虽然整体框架上依然沿用NR-V2X通信的资源分配机制，但是直通链路定位技术是以SL-PRS资源作为资源分配的基本粒度进行资源排除和选择。

2 车联网技术演进与展望

随着车联网技术的发展，一方面需要提供更低时延、更可靠和更大的数据传输，用以支持未来面向自动驾驶的应用^[18]；另一方面需要更准确和更精细地构建周围的道路环境，实现环境的准确感知和终端用户的高精度定位。这些需求都与6G技术的研究有着紧密的联系。通信与感知的融合、人工智能与通信的融合作为6G的两大技术远景，有效地



扩展了通信以外的新场景，在车联网技术的演进中得到了产业界和学术界的重点关注^[19-20]。

2.1 通信与感知融合信道建模

目前通信与感知融合的信道建模正在3GPP R19项目中得到深入的讨论，旨在为后续的6G通信与感知融合提供研究和评估的基础。

在通信与感知融合的场景中，感知节点基于反射波对目标物体进行感知，需要针对反射信道的特性进行建模。信道建模，可以仿真评估不同场景下通感的系统性能，为通感一体化技术的优化和应用提供理论支持。文献[21]将无线信道建模方法分为统计性建模方法、确定性建模方法以及半确定性建模方法，并分析了3种建模方法的优缺点，列举了各类型中经典的信道模型，如广义平稳非相关散射模型、Clarke模型、S-V模型、瑞利衰落模型、莱斯衰落模型、对数正态衰落模型等，并简要介绍了对应的特点和应用场景。文献[22]深入分析了微多普勒效应的产生机理和特性，建立了微多普勒效应的模型，并进行了仿真研究，为感知目标识别和特征提取提供了理论基础。文献[23]分析了交通标志对V2X通信信号的影响，涉及电磁波在复杂环境中的传播和散射问题，模拟了不同形状、材料和尺寸的交通标志牌对信号的散射效果，并通过实际测量验证了模拟结果的准确性。文献[24]详细分析了雷达互扰对通信与感知融合（integrated sensing and communication, ISAC）系统信道建模的影响，包括信号干扰、多径效应、噪声增加等方面，提出了一种双信道模

型，用于描述ISAC系统中的感知和通信信道，并建立了感知信道和通信信道之间的互扰关系，为后续的ISAC信道估计和建模提供了基础。

3GPP在R19 ISAC的研究中聚焦于信道建模，针对感知目标为无人机、人、车、自动引导车（automated guided vehicle, AGV）、产生危险的物体等场景（见表3）建立完整的信道建模，为后续开展ISAC的研究和标准化工作提供基础，感知目标与感知场景见表3。在建模中支持6种感知模式：发送接收点（transmission reception point, TRP）单站、TRP-TRP双站、TRP-UE双站、UE-TRP双站、UE-UE双站和UE单站^[7]。同时，需要研究确定各场景的仿真假设参数，如感知发送端和感知接收端的位置，感知目标和环境物体的速度、分布、方向、物理特性等。

ISAC信道建模主要关注针对引入感知目标后的信道生成的相关内容，目前3GPP讨论中将ISAC信道划分为目标信道（target channel）和背景信道（background channel）两部分，ISAC信道构成如图11所示。其中，目标信道包括受到感知目标影响的所有多径（图11中的虚线部分），背景信道则包括环境中除属于目标信道之外的所有多径（图11中的实线部分）。此外，还涵盖了目标信道以及背景信道建模过程中的级联方法、视距（line of sight, LOS）状态或非视距（non-line of sight, NLOS）状态的判断方法、目标/环境物体建模、路径损耗计算、雷达横截面（radar cross-section, RCS）建模、多普勒、空间一致性、信道校准等内容。

表3 感知目标与感知场景

感知目标	感知场景
无人机	城市宏小区、城市微小区、农村宏小区
室内行人	室内工厂、室内办公室、[室内房间]、[城市宏小区、城市微小区]
室外行人	城市宏小区、城市微小区、[农村宏小区]
车辆	高速公路、城区、城市宏小区、城市微小区、农村宏小区
自动引导车	室内工厂
产生危险的物体	高速公路、城区、高速铁路

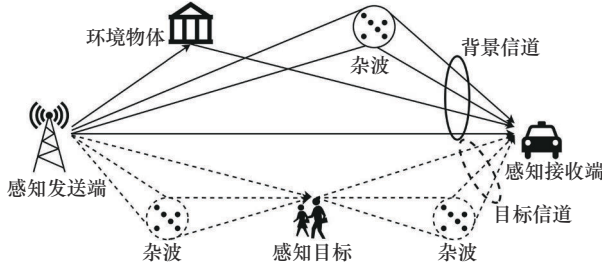


图 11 ISAC 信道构成

当前主要集中在目标信道建模方法的讨论，如果引入类似目标的环境物体，则可以采用相似的建模方法，因此本文主要集中介绍目标信道建模内容。目标信道可以划分为两段：感知发送端到感知目标、感知目标到感知接收端。每一段都可以为 LOS 状态或 NLOS 状态。生成目标信道的候选方法为将两段信道进行级联或非级联。非级联的生成方式仅考虑两段信道均为 LOS 状态，建模方法简单，但无法客观评价某些场景下的感知性能，无法为 6 种感知模式设计统一的公共信道模型。级联方法可以更加灵活地应对不同的需求，有利于实现统一信道模型，可以有效支持目标信道中两段信道的 LOS/NLOS 状态多种组合的信道建模，并且具有可控的复杂性。

为简化信号建模复杂度，仅考虑信号两跳的情况，基于簇级 (cluster-level) 级联的目标信道 (以感知发送端 (Tx) 到感知目标 (Target) 这段信道为 LOS 状态、感知目标到感知接收端 (Rx) 这段信道为 LOS 状态为例) 可以表示为：

$$\begin{aligned}
 H_{u,s}^{\text{Target}}(\tau, t) = & H_{u, \text{Target}, 1}^{\text{LOS}}(t) H_{\text{Target}, s, 1}^{\text{LOS}}(t) \\
 & \delta\left(\tau - \tau_{\text{LOS}}^{\text{Target-Rx}} - \tau_{\text{LOS}}^{\text{Tx-Target}}\right) + \\
 & \sum_{n_2=1}^{N_2} \sum_{m=1}^M H_{u, n_2, m}^{\text{NLOS}}(t) H_{\text{Target}, s, 1}^{\text{LOS}}(t) \\
 & \delta\left(\tau - \tau_{n_2}^{\text{Target-Rx}} - \tau_{\text{LOS}}^{\text{Tx-Target}}\right) + \\
 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{m=1}^M H_{u, \text{Target}, 1}^{\text{LOS}}(t) H_{s, n_1, m}^{\text{NLOS}}(t) \\
 & \delta\left(\tau - \tau_{\text{LOS}}^{\text{Target-Rx}} - \tau_{n_1}^{\text{Tx-Target}}\right) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} \sum_{m=1}^M H_{u, n_2, m}^{\text{NLOS}}(t) H_{s, n_1, m}^{\text{NLOS}}(t) \\
 & \delta\left(\tau - \tau_{n_2}^{\text{Target-Rx}} - \tau_{n_1}^{\text{Tx-Target}}\right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

其中， u 为 Rx 天线阵元索引， s 为 Tx 天线阵元索引， $\delta(\cdot)$ 是冲激函数， n_1 为 Tx 至 Target 之间的簇的索引 (共 N_1 个)， n_2 为 Target 至 Rx 之间的簇的索引 (共 N_2 个)， m 为每个簇中径的索引 (共 M 个)， τ_x^{a-b} 表示 a 到 b 之间路径 x 对应的时延。

2.2 人工智能辅助的定位技术

直通链路定位方法包括 RTT、AOA、TDOA 等，这些定位方法潜在假设了收发参考信号的设备之间包含 LOS 的传播路径。在 NLOS 传播条件下，测量噪声和 NLOS 传播误差会造成定位精度的下降^[25]。解决 NLOS 条件下无线定位问题的方法之一是排除 NLOS 传播路径，但是该方法面临的问题是如何检测出 NLOS 传播路径。文献[26]研究了减少或消除无线通信中 NLOS 传播条件对移动终端定位精度的影响，提出了一种检测算法，该算法利用所有可能的 UE 位置的 NLOS 状态的先验信息，能够检测出多个 NLOS 传播路径。文献[27]提出了一种基于 NLOS 路径的先验信息和两条 NLOS 路径，采用几何算法计算终端位置的方法，还进一步研究了使用最小二乘法 (least-squares, LS) 算法和最大似然估计 (maximum likelihood, ML) 算法基于多个 NLOS 传播路径提升定位精度。上述在 NLOS 传播条件下的定位方法需要有一些先验信息，如 AOA、AOD 等，而在实际应用中获取这些先验信息是有困难的。文献[28]对现有的 NLOS 缓解技术进行了分类和总结，包括基于统计模型的方法、基于几何约束的方法等，详细分析了每种方法的原理、实现方式以及优缺点，并指出了它们在实际应用中的潜在问题和挑战。随着人工智能技术的快速发展，其优秀的非线性处理能力在图像识别、语音处理、自然语言处理、智能驾驶等领域表现出超



强的性能。人工智能 (artificial intelligence, AI) /机器学习 (machine learning, ML) 技术可以基于大量的无线信号测量的信道数据找到信道特征、位置信息和定位中间变量之间的关系, 获得可靠的定位精度, 在直通链路定位中引入 AI/ML 技术可以作为解决 NLOS 场景下高精度定位的方法之一。

3GPP 在 R18 中已经开展了 AI/ML 增强无线通信空口的标准化研究项目^[30], AI/ML 辅助的定位技术是其中一个重要用例。通过仿真评估观察到, AI/ML 辅助的定位技术相较于传统的 NR 的定位技术展现出了显著的定位性能提升。同时该研究项目也针对模型的泛化性做了大量的评估, 环境配置参数、同步误差、信噪比等的不匹配均会导致模型性能的下降, 但是可以通过混合数据集训练、模型微调等方法使 AI 模型在指定条件下具有一定的泛化性^[29]。基于 R18 的研究成果, 3GPP 在 R19 中开展了 AI/ML 定位技术的标准化阶段研究, 包括训练数据收集、模型输入和输出、模型监督以及训练阶段和推理阶段的一致性等方面^[8]。

本节给出了在室内场景下, 对基于 AI/ML 的定位技术的评估结果, 相关的仿真参数见表 4^[31]。

表 4 仿真参数^[31]

参数	数值
载波频率	3.5 GHz
场景	Inf-DH
带宽	100 MHz
训练数据样本数	直接定位: 21 600 辅助定位: 30 000
模型输入	时域信道估计
模型输入维度	18×2×256
发送功率	24 dBm
障碍物参数	直接定位: {40%, 2 m, 2 m} 辅助定位: {60%, 6 m, 2 m}
AI 定位模型	ResNet18 ^[32]
损失函数	Smooth L1 Loss
锚节点	18 个

以 ResNet18 为定位模型, 时域信道估计为模型的输入, 对直接定位和辅助定位两种技术方案进行了评估。对于直接定位, AI 模型通过有真实标签 (终端的位置信息) 的训练数据学习信道信息与终端位置的关系, 直接推理出被定位终端的位置信息; 对于辅助定位, AI 模型通过有真实标签 (终端和锚节点的直射径传播时间) 的训练数据学习信道信息与直射径传播时间的关系, 推理出定位中间变量直射径传播时间, 然后利用传统的定位方法进行位置解算, 获取被定位终端的位置信息。

基于 AI 的直接定位仿真结果如图 12 所示, 仿真结果节点之间 NLOS 概率 > 60%, 定位精度可以达到亚米级 (0.79 m), 在同等条件下, 传统定位方法的定位精度大于 15 m^[33]; 基于 AI 的辅助定位仿真结果如图 13 所示, 仿真结果节点之间 NLOS 概率大于 99%, 其他条件与直接定位相同的环境下, 将模型输出为直射径的信号到达时间 (time of arrival, TOA) 换算到距离上, TOA 的估计精度可以达到 0.53 m 左右, 基于 TOA 的估计结果再使用传统的定位算法解算, 也可以达到相对较好的定位精度。

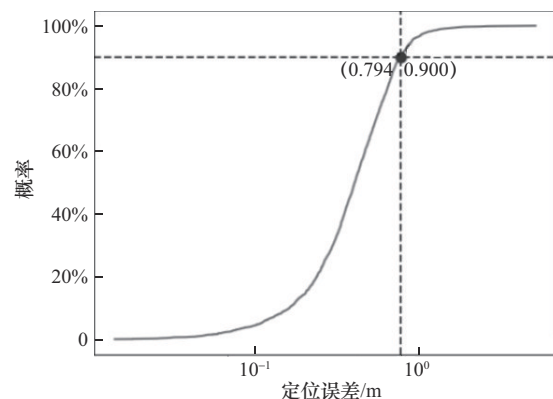


图 12 基于 AI 的直接定位仿真结果

从上述仿真结果可以看出, 传统定位方法需要依赖于锚节点和终端之间的直射径传播时间才可获取可靠的位置信息, 而基于 AI/ML 的定位方法可以直接学习 NLOS 环境下的信道信息与终端

位置相关信息的关系，从而在NLOS环境下也能获得较好的定位性能。

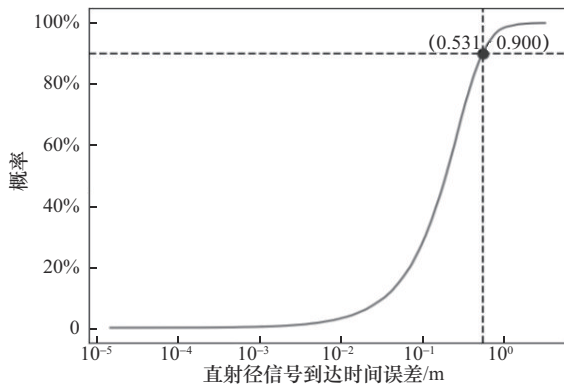


图13 基于AI的辅助定位仿真结果

3 结束语

3GPP目前已经完成了基于5G的直连通信技术的标准化工作，针对蜂窝车联网对于无蜂窝网络覆盖区域的通信和定位需求，以及更高传输速率和更丰富频谱资源的要求，本文研究了毫米波频段的直连通信技术，规范了非授权频段直连通信技术的应用、LTE-V2X和NR-V2X同信道共存的机制以及基于NR-V2X的直通链路定位技术。随着6G时代的到来，通信感知一体化技术和人工智能与机器学习技术预期将重塑车联网工作模式，实现通信与感知、计算的深度融合，从而满足车联网极低时延、极高可靠性、超大带宽、海量接入的通信需求。可以预见，未来车联网将是一个高度互联、智能化和自动化的生态系统。随着直连通信技术的持续演进，加之6G网络所带来的潜在优势，车联网领域也将迎来前所未有的发展机遇。

参考文献：

[1] 陈山枝, 胡金玲, 赵丽, 等. 蜂窝车联网(C-V2X)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
CHEN S Z, HU J L, ZHAO L, et al. Cellular vehicle-to-everything (C-V2X) [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2020.

[2] 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.

[3] 胡金玲, 赵锐, 房家奕, 等. 车联网C-V2X技术演进及产业实

践[J]. 信息通信技术与政策, 2020(8): 22-31.
HU J L, ZHAO R, FANG J Y, et al. C-V2X technology evolution and industry practice[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2020(8): 22-31.

[4] 温小然, 王亚坤, 习一凡, 等. 蜂窝车联网(C-V2X)演进技术研究[J]. 移动通信, 2021, 45(6): 52-57.
WEN XR, WANG YK, XI YF, et al. Research on C-V2X evolution technologies[J]. Mobile Communications, 2021, 45(6): 52-57.

[5] 3GPP. WID revision: NR sidelink evolution: RP-232789[R]. 2023.

[6] 3GPP. Revised WID on expanded and improved NR positioning: RP-233382[R]. 2023.

[7] 3GPP. Revised SID: study on channel modelling for integrated sensing and communication (ISAC) for NR: RP-240799[R]. 2024.

[8] 3GPP. Revised WID on artificial intelligence (AI)/machine learning (ML) for NR air interface: 3GPP RP-240774[R]. 2024.

[9] 工信部无线电管理局. 工业和信息化部关于加强和规范2400 MHz、2500 MHz和5800 MHz频段无线电管理有关事宜的通知[Z]. 2019.
Radio Administration Bureau, Ministry of Industry and Information Technology. Notice of the Ministry of Industry and Information Technology on matters related to strengthening and standardizing the radio management of 2400 MHz, 2500 MHz and 5800 MHz bands[Z]. 2019.

[10] Electronic Code of Federal Regulations. Title 47 chapter i subchapter a part 15-radio frequency devices[EB]. 2024.

[11] ETSI. 5GHZ WAS/RLAN. Harmonized Standard for access to radio spectrum: EN 301 893, V2.2.0[S]. 2023.

[12] 3GPP. Physical layer procedures for shared spectrum channel access: TS 37.213, V18.3.0[S]. 2024.

[13] CHEN S Z, SUN S H, XU G X, et al. Beam-space multiplexing: practice, theory, and trends, from 4G TD-LTE, 5G, to 6G and beyond[J]. IEEE Wireless Communications, 2020, 27(2): 162-172.

[14] CHEN S Z, HE X X, ZHAO R, et al. Building mmWave on the evolving C-V2X: mmWave NR-V2X[J]. China Communications, 2024, 21(1): 88-101.

[15] Federal Communications Commission. FCC modernizes 5.9 GHz band for Wi-Fi and auto safety[EB]. 2024.

[16] 3GPP. Study on expanded and improved NR positioning: TR 38.859, V18.0.0[R]. 2024.

[17] 3GPP. Sidelink Positioning Protocol (SLPP); Protocol specification: TS 38.355, V18.2.0[S]. 2024.

[18] ZHOU H B, XU W C, CHEN J C, et al. Evolutionary V2X technologies toward the Internet of vehicles: challenges and opportunities[J]. Proceedings of the IEEE, 2020, 108(2): 308-323.

[19] NOOR-A-RAHIM M, LIU Z L, LEE H, et al. 6G for vehicle-to-everything (V2X) communications: enabling technologies, challenges, and opportunities[J]. Proceedings of the IEEE, 2022, 110(6): 712-734.

[20] 3GPP. Feasibility study on integrated sensing and communication: TR 22.837, V19.4.0[R]. 2023.

[21] 朱春华, 姚金魁, 杨铁军. 无线信道建模方法综述[J]. 无线互联科技, 2015, 12(16): 26-27.



ZHU C H, YAO J K, YANG T J. Review on wireless channel modeling method[J]. *Wireless Internet Technology*, 2015, 12 (16): 26-27.

[22] CHEN V C, LI F, HO S S, et al. Micro-Doppler effect in radar: phenomenon, model, and simulation study[J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2006, 42(1): 2-21.

[23] GUAN K, AI B, LISO NICOLÁS M, et al. On the influence of scattering from traffic signs in vehicle-to-X communications[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2016, 65(8): 5835-5849.

[24] CARDONA N, ROMERO J S, YANG W F, et al. Integrating the sensing and radio communications channel modelling from radar mutual interference[C]//*Proceedings of the ICASSP 2023-2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. Piscataway: IEEE Press, 2023: 1-5.

[25] CAFFERY J, STUBER G L. Subscriber location in CDMA cellular networks[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1998, 47(2): 406-416.

[26] CONG L, ZHUANG W H. Nonline-of-sight error mitigation in mobile location[J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2005, 4(2): 560-573.

[27] MIAO H L, YU K G, JUNTTI M J. Positioning for NLOS propagation: algorithm derivations and Cramer-Rao bounds[C]//*Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing Proceedings*. Piscataway: IEEE Press, 2006: 2568-2580.

[28] GUVENC I, CHONG C C. A survey on TOA based wireless localization and NLOS mitigation techniques[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2009, 11(3): 107-124.

[29] 3GPP. Study on Artificial Intelligence (AI)/Machine Learning (ML) for NR air interface: TR 38.843, V18.0.0[R]. 2023.

[30] 3GPP. Revised SID: Study on Artificial Intelligence (AI)/Machine Learning (ML) for NR Air: RP-221348[R]. 2022.

[31] 3GPP. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz: TR 38.901, V17.1.0[R]. 2023.

[32] HE K M, ZHANG X Y, REN S Q, et al. Deep residual learning for image recognition[C]//*Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Piscataway: IEEE Press, 2016: 770-778.

[33] 金路达. 基于5G网络中OTDOA的定位方法[D]. 武汉: 华中科技大学, 2020.

JIN L D. Location method of OTDOA based on 5G network[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2020.

[作者简介]



赵锐 (1975-), 男, 博士, 中信科智联科技有限公司教授级高级工程师、高级标准专家, 主要研究方向为车联网无线通信技术。



温小然 (1995-), 女, 中信科智联科技有限公司标准研究工程师, 主要研究方向为车联网无线通信技术等。



郑石磊 (1992-), 男, 中信科智联科技有限公司标准研究工程师, 主要研究方向为车联网无线通信及定位技术等。



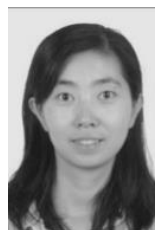
周晓星 (1996-), 女, 中信科智联科技有限公司标准研究工程师, 主要研究方向为车联网无线通信技术等。



习一凡 (1996-), 女, 中信科智联科技有限公司标准研究工程师, 主要研究方向为车联网无线通信技术等。



刘艳强 (1996-), 男, 中信科智联科技有限公司标准研究工程师, 主要研究方向为车联网无线通信技术等。



胡金玲 (1974-), 女, 中信科智联科技有限公司教授级高级工程师、首席专家, 主要研究方向为车联网与下一代无线通信等。