



专题：5G 演进技术

直通链路技术的发展与展望

张博源¹, 黄学艳², 赵振山³, 张世昌³, 马腾³, 刘亮²

(1. OPPO 研究院, 陕西 西安 710021;

2. 中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053;

3. OPPO 研究院, 北京 100125)

摘要: 直通链路技术已广泛应用于车联网场景。对于直通链路技术的潜在技术方向给出可行的建议, 包括传统直通链路技术的增强方向, 如载波聚合、使用非授权频谱等; 侧行链路对于中继场景的应用扩展, 包括终端到终端之间的中继, 以及中继的多链接场景; 在高精度定位场景使用直通链路技术。并且, 给出直通链路技术与各种新技术的融合应用, 如智能反射面与区块链技术, 从而解决直通链路技术自身的缺陷。

关键词: 直通链路; mesh 网络; 中继; 车联网

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022049

Development and prospect of sidelink technology

ZHANG Boyuan¹, HUANG Xueyan², ZHAO Zhenshan³, ZHANG Shichang³, MA Teng³, LIU Liang²

1. OPPO Research Center, Xi'an 710021, China

2. China Mobile Research Center, Beijing 100053, China

3. OPPO Research Center, Beijing 100125, China

Abstract: Sidelink technology has been widely used in V2X scenarios. The potential technical consideration for Rel-18 feature set will be given out, including the traditional enhancement orientation for traditional sidelink technology, such as carrier aggregation and sidelink-unlicensed. The scenario extension for sidelink relay, such as UE to UE relay and multi-connection in relay scenario, the application of sidelink technology in accurate positioning scenario. In addition, how to combine sidelink technology with other latest technology was discussed, such as reflective intelligent surface (RIS) and blockchain technology, to solve its own shortage.

Key words: sidelink, mesh network, relay, V2X

0 引言

直通链路 (sidelink) 技术与传统的 Uu 接口通信技术相比, 并非强依赖于基站的调度与配置,

属于典型的自组织网络^[1]。在传统自组织网络的基础上, 通过引入基站的协调与辅助管理, 可以有效降低传统自组织网络存在的资源碰撞以及路由复杂的问题。sidelink 技术在标准化初期主要应

用于设备与设备之间的直接通信场景以及终端到网络的中继场景。车联网作为一个目前主流的应用场景被 3GPP 在后续多个协议版本中持续优化^[2]。至今, sidelink 技术经过历次迭代已经越发完善, 但作为自组织网络技术, 潜在的天然缺陷仍无法避免。首先, 终端资源选择的碰撞问题经过多次协议版本迭代后的优化更新, 目前已经能够在一定程度上有效解决该问题, 但仍然无法彻底避免。另外, sidelink 技术支持的业务场景逐渐增多, 但频谱资源仍然十分有限, 因此考虑将 sidelink 技术迁移到免许可频段工作是紧迫而必要的。本文针对所述 sidelink 技术目前存在的缺陷以及优化方向给出思考与解决方案。

1 sidelink Rel-17 技术现状

1.1 sidelink 增强

在 Release 17 (Rel-17) 中, sidelink 增强除了车联网场景外, 也考虑了可以更广泛应用的商业场景。考虑商业场景中涉及的终端无法向车联网终端一样具有强大的终端能力。因此, 终端节能是一个非常必要的增强方向。通过部分侦听 (partial sensing), 随机资源选择与 sidelink 非连续接收 (discontinuous reception, DRX), 可以有效地减少终端持续接收而损耗的能量。具体地, 对于部分侦听与随机资源选择, 尽可能地复用 Rel-14 的设计, 同时考虑 sidelink DRX 所带来的潜在影响; 对于 sidelink DRX, 能够清楚地定义 sidelink DRX 周期内各阶段的终端行为, 以及考虑如何与 Uu DRX 共存。另一方面, 终端通过侦听进行自主资源选择的工作模式不可避免地存在资源碰撞以及半双工的影响, 在这个版本引入了通过终端间协作获取资源的机制^[4], 并且对该资源获取模式进行具体设计。

1.1.1 partial sensing

在 Rel-17 的 NR sidelink 系统中, 为了达到节能省电的效果, 引入了基于随机选择和部分侦听

的资源选取机制。随机选择即终端不进行资源侦听, 直接在资源选择窗内等概率随机选择资源发送数据。终端不进行侦听, 因此可以获得节能效果。部分侦听机制即终端在侦听窗内只侦听部分而不是全部时隙以达到节能省电的效果。

在部分侦听机制中, 终端在选择窗内预选 Y 个时隙, 针对该选取的 Y 个时隙在侦听窗内进行部分侦听, 根据侦听结果对该 Y 个时隙中包括候选传输资源进行资源排除, 从而确定候选资源集合。为了支持部分侦听机制, 在 NR sidelink 中引入了基于周期的部分侦听 (periodic-based partial sensing, PBPS) 和连续部分侦听 (continuous partial sensing, CPS)^[5]。

- **PBPS:** 即终端根据周期信息进行侦听。终端被配置需要侦听的周期参数, 该周期参数可以是该资源池支持的周期预留参数的子集。根据该周期参数, 终端对预选的 Y 个时隙中包括的传输资源在侦听窗内进行侦听。
- **CPS:** 即终端在选取资源前进行持续的侦听, 主要是为了避免和其他终端的非周期性传输发生冲突。对于非周期性传输, 终端不需要周期性地预留传输资源, 所以侦听终端无法通过 PBPS 排除与该终端的资源冲突。

PBPS 侦听窗如图 1 所示, 终端在时隙 n 进行资源选取或资源重选, 终端在选择窗内预选 Y 个时隙, 获取需要侦听的周期参数 P_{reserve} , 资源池配置信息中额外配置了 $k=2$, 对于 Y 个时隙中的任意一个时隙 t_{y_0} , 终端需要在侦听窗内对时隙 $t_{y_0-k \times P_{\text{reserve}}}$ 进行基于周期侦听, 并且对该时隙前的 M 个时隙, 即 t_{y_0-m} 进行侦听, 其中, $k=1, 2$, $m=1, 2, \dots, M$ 。

1.1.2 sidelink DRX

DRX 技术是 Uu 系统中常用的降低终端能耗的一种技术, 在 Rel-17 中将 DRX 应用到 sidelink 系统中, 从而达到 sidelink 系统中终端节能的目的。sidelink 非连续接收需要能够应用于广播、多

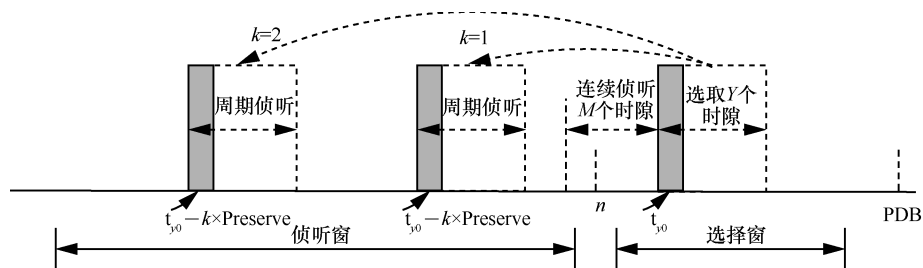


图 1 PBPS 侦听窗

播和单播业务。具体地，需要定义清楚 sidelink DRX 的开启与关闭持续时间段以及对应的终端行为。考虑终端可能同时与多个对端终端产生多个业务，需要考虑如何在多个终端间对齐 sidelink DRX 的配置。另外，Sidelink 终端需要同时支持 Uu 接口业务的正常通信，因此在配置 sidelink DRX 时需要考虑对齐终端的 Uu DRX，可以最大限度地达到节能效果。原则上，sidelink DRX 配置尽可能复用 Uu 接口 DRX 中设计的各种定时器。对于接收端终端，在激活时段内，其需要执行 sidelink 控制信息（sidelink control information, SCI）的监听用于进行数据的接收，其中，SCI 的监听包括第一阶 SCI（承载在 PSCCH 中）和第二阶 SCI（承载在 PSSCH 中）的监听。相反地，在非激活时段内，接收端终端不需要进行数据接收，因此可以略过 SCI 的监听。需要说明的是，在非激活时段内，接收端终端不需要进行数据的接收，该终端仍然可以进行数据的发送。该终端有待发送的数据时，可以基于侦听获取传输资源，侦听行为可以发生在非激活时段内，侦听过程包括第一阶 SCI 的监听与 RSRP (reference signal receiving power) 测量。

由于 sidelink 通信中单播与多播广播的机制间存在比较大的区别，主要是在单播通信中支持终端与终端间的 PC5-RRC 连接，而多播广播中没有引入 PC5-RRC 连接。因此单播通信 sidelink DRX 的配置原则与多播、广播存在较大差异。

具体地在单播通信中，sidelink DRX 的配置

可以维护在一对源地址与目标地址之间，同时对不同的通信方向，sidelink DRX 的配置也是不同的。在单播通信中，sidelink DRX 的配置方式是由发送端主导的。可以理解为 sidelink DRX 的配置信息是由发送端终端或者发送端终端所连接的基站生成的。

另外，在单播通信中，为了能够更加灵活地使用 sidelink DRX 机制，引入了 DRX 控制媒体访问控制层控制单元 (multiple access channel control element, MAC CE)。当接收端接收到发送端发送的 DRX 控制 MAC CE 时，可以暂时停止所配置的 DRX 定时器来保证数据的正确接收以及更好支持终端节能。

另一方面，对于 sidelink 多播与广播通信，在缺失 PC5-RRC 的情况下，发送端和接收端需要使用通用的 sidelink DRX 配置，避免终端之间的配置冲突导致无法成功进行数据包接收。目前规定对于多播与广播业务，sidelink DRX 配置的部分参数以 QoS 简档 (QoS profile) 为粒度，部分参数以层二地址为粒度进行配置。另外网络侧或预配置会下发 Tx profile (transmission profile) 与层二地址的映射关系，只有当接收端对应业务所有的层二地址 (Layer 2 ID) 均支持 sidelink DRX 时，接收端终端才会开启 sidelink DRX 功能。

1.1.3 Inter-UE Coordination

在基于资源选择第二模式 (Mode 2) 的传输方式中，终端在资源池中根据侦听结果选取传输资源，这种资源选取方式在一定程度上避免了终端之间的干扰，但是还存在以下问题。

- 隐藏节点 (hidden node): 隐藏节点示意图如图 2 所示, UE (user equipment) -A 根据侦听选取资源, 并利用该资源向 UE-1 发送侧行数据, 由于 UE-B 和 UE-A 相距较远, 互相侦听不到对方的传输, 因此, UE-A 和 UE-B 可能选取相同或重叠的传输资源, 这种情况下在 UE-1 侧 UE-B 发送的数据会对 UE-A 发送的数据造成干扰, 这就是隐藏节点问题。

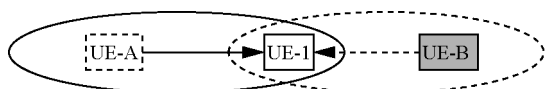


图 2 隐藏节点示意图

- 半双工 (half-duplex) 问题: 当终端通过侦听选取传输资源时, 发送终端和目标接收终端可能选择位于同一时隙内的资源, 由于目标接收终端会在该时隙上发送数据, 而无法接收发送终端发送的数据。
- 暴露终端问题: 暴露终端示意图如图 3 所示, 发送 UE-A 和发送 UE-B 均可以监听到对方, 但 UE-A 远离 UE-B 的目标接收终端 UE-2, UE-B 也远离 UE-A 的目标接收终端 UE-1, 这种情况下发送 UE-A 和发送 UE-B 即使使用相同的时频资源也不会影响各自目标接收终端的接收, 但双方地理位置接近, 侦听过程中检测对方的信号接收功率可能会很高, 从而双方会选择正交的时频资源, 最终可能导致资源利用效率的下降。

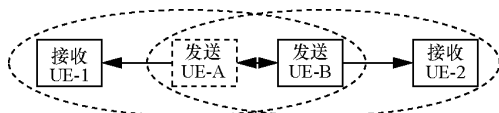


图 3 暴露终端示意图

- 功耗问题: 在资源选择第二模式的侦听过程中, 需要终端持续地进行资源侦听以判断哪些资源是可用的, 而终端持续进行资

源侦听需要消耗很大的能量, 这对车载终端不是问题, 因为车载终端有供电设备, 但对手持终端则是无法承受的。

为了解决上述问题, 在 Rel-17 中除了引入部分侦听外, 还进一步引入了基于 UE 间协调的资源选择第二模式, 这一模式的基本思想是 UE-B 在进行第二模式的资源选择时, 需要考虑 UE-A 提供的协调信息, 根据协调信息内容的不同, 这一模式包括两种不同的方案。

- 方案 1: UE-A 发送给 UE-B 的协调信息为一个资源集合, 资源集合中包含适合或不适合 UE-B 使用的资源。
- 方案 2: UE-A 发送给 UE-B 的协调信息为 UE-B 通过 SCI 预留的资源上可能发送冲突的指示信息。

对于方案 1, UE 间协调信息的发送可以通过两种方式触发, 一种方式为 UE-B 发送给 UE-A 的触发信令, UE-A 接收到触发信令后生成协调信息并发送给 UE-B。另一种方式为 UE-A 满足了特定触发条件, 这种情况下 UE-A 会直接将生成的协调信息发送给 UE-B 而无须 UE-B 事先触发。由于方案 1 中协调信息包含的是一个资源集合, 指示该资源集合所需的比特数可能远远超过 SCI 的容量 (其中第二阶 SCI 的最大容量为 140 bit), 因此, 方案 1 中协调信息通过 MAC CE 承载。

1.2 sidelink 中继

在 Rel-17 中, sidelink 中继课题是为了实现单跳的层二和层三终端到网络中继的场景。其中, 中继终端 (U2N relay UE) 的发现, 中继终端的选择/重选以及远端终端 (U2N remote UE) 和中继终端授权的过程通用于基于层二和层三的终端到网络中继技术。针对层三中继, 还需要解决服务连续性和路由的问题。针对层二中继, 还需要解决控制面流程、服务连续性以及适配层设计等问题。值得注意的是, 针对发现过程, 需要同时考虑中继与非中继场景^[6]。与传统 sidelink 不同的



是, 针对层二中继与层三中继, 协议栈的设计稍有区别, 具体用户面协议栈可以参考图 4 和图 5, 主要区别是对层二中继, 通过在 RLC (radio link control) 层上添加适配层执行路由与承载映射的功能; 对于层三中继, 路由与承载映射的功能都是通过 IP 层实现的, 如图 5 中所示的多层嵌套的 IP 子头是一种实现方式, 具体原理可以参考^[7-8]。

1.2.1 中继发现过程

在终端到网络的中继场景中, 远端终端和中继终端都可以发起中继过程^[9]。其中, 远端终端可以在 RRC 空闲态、RRC 非活跃态或 RRC 连接态下发送发现消息。网络可以为远端终端配置 Uu 接口信号门限值, 当远端终端的 Uu 接口信号测量值低于该门限值时, 可以视为当前 Uu 链路质量较差, 需要通过中继的方式接入网络, 此时远端终端可以发送发现消息或者回复中继终端发现消息对应的发现响应消息。对于中继终端, 其可以在

RRC 空闲态、RRC 非活跃态或 RRC 连接态发送发现消息。但有所区别的是, 网络需要为中继终端同时配置一个最大的 Uu 信号质量门限值与最小的 Uu 信号质量门限值。目的是当中继终端的 Uu 信号质量超过最大门限值时, 可以认为当前中继终端及其附近的链路质量很好, 没有必要为其附近的远端终端切换至中继连接; 另一方面, 当中继终端的 Uu 信号质量小于最小门限值时, 可以认为当前中继终端信号过差不适合执行中继业务^[10]。

1.2.2 中继选择 (重选)

对于远端终端, 为了保证可靠的中继连接, 需要持续在 PC5 接口上进行信号质量的测量, 执行中继终端的重选, 确保自身总是连接到最合适的中继终端。当远端终端所测得的中继终端的 PC5 信号质量高于所配置的门限值时, 可以认为该中继终端是适合做中继业务的。如果同时存在多个合适的中继终端, 那么可以依靠远端终端自

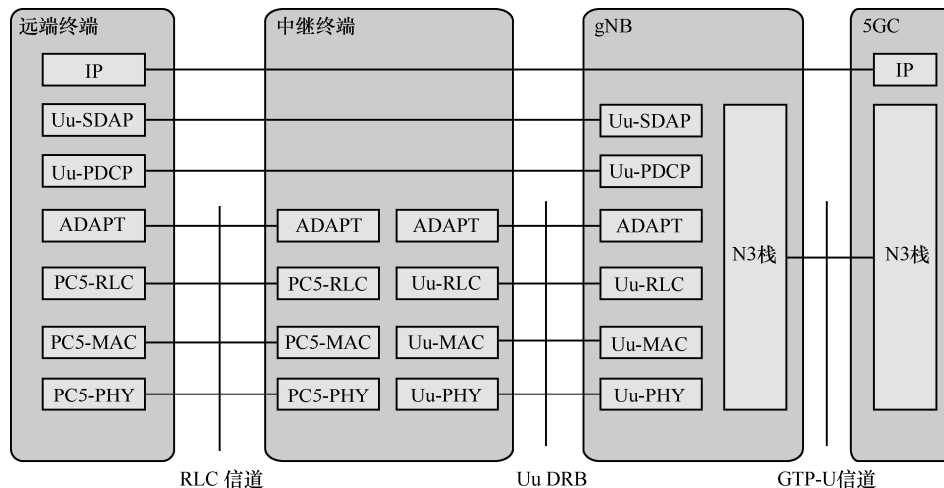


图 4 层二终端到网络中继协议栈

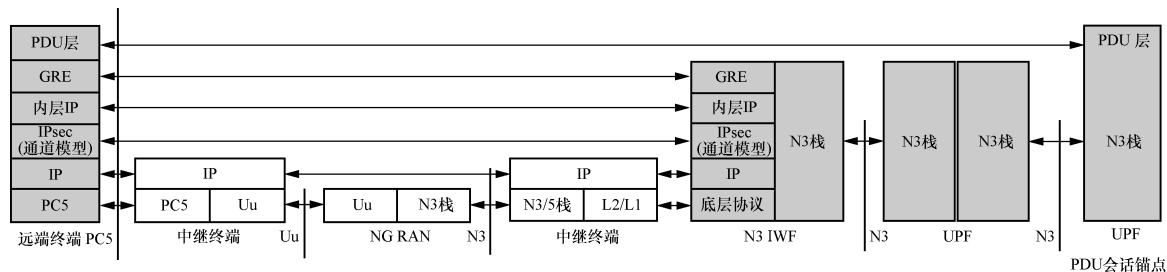


图 5 层三终端到网络中继协议栈

身的实现方法确定最终所选择的中继终端。另外,当中继终端与远端终端之间有 sidelink 业务传输时,可以通过 sidelink 业务传输对应的信号质量进行测量;反之,可以通过发现消息对应的信号质量进行测量。

当远端终端进行中继终端初选时,需要满足两个条件,首先,远端终端的 AS (access stratum) 层需要获得高层指示触发中继终端选择,其次,远端终端的 Uu 接口信号质量需要低于配置的信号质量门限值。

当远端终端进行中继终端重选时,需要满足以下条件。

- 远端终端与当前连接的中继终端之间的 PC5 接口的信号质量需要低于配置的门限值。
- 远端终端与当前中继终端之间的 PC5 连接由于中继终端 Uu 接口的无线链路失败或者中继终端的小区切换而断开。
- 当远端终端与当前中继终端支架的 PC5 连接发生了无线链路失败。

基于以上条件,可以在远端终端触发中继终端重选。

1.2.3 控制面过程

与传统的 Uu 接口直连不同的是,若远端终端通过中继终端连接到网络,那么可以有两种系统消息获取的方式。首先,如果远端终端处于覆盖内,那么远端终端可以直接通过 Uu 接口接收网络广播的系统消息。或者,远端终端可以通过 PC5-RRC 消息从中继终端获取转发的系统消息。另外,如果远端终端通过中继连接的方式处于 RRC 连接态,那么也可以按需获取系统广播消息 (on demand SIB acquisition)。另一方面,若远端终端通过中继连接的方式处于 RRC 空闲态或者 RRC 非活跃态,远端终端可以将自身需要的系统广播消息类型通过 PC5-RRC 消息报告给中继终端,进一步地,中继终端可以通过按需获取系统

广播消息的方式获得远端终端所需的系统广播消息并最终通过 PC5-RRC 消息进行转发。

另一个需要解决的问题是远端终端如何进行寻呼。当远端终端与中继终端同时处于 RRC 空闲态或 RRC 非活跃态时。此时,中继终端不仅需要监听自身所配置的寻呼时机,还要向连接的远端终端进行寻呼消息的传递。具体地,中继终端有两种方式传递寻呼消息,如果中继终端的下行激活 BWP (bandwidth part) 被配置了公共搜索空间,那么中继终端可以直接帮助远端终端监听对应的寻呼时机,为了帮助中继终端更准确地监听远端终端的寻呼时机,远端终端可以将自己的 5G-S-TMSI/I-RNTI 以及 Uu DRX 配置报告给中继终端。或者当中继终端处于 RRC 连接态时,网络侧会将远端终端的寻呼消息通过 RRC 专有信令下发给中继终端,中继终端进一步通过 PC5-RRC 消息将寻呼消息转发给远端终端,这种方式的前提是远端终端提前将自己的 5G-S-TMSI/I-RNTI 报告给中继终端,中继终端进一步将远端终端的身份标识向网络侧上报。另外,远端终端建立单播连接的流程中比较重要的是远端终端和中继终端执行发现流程并通过 NR V2X 定义的单播连接建立流程完成 PC5-RRC 的建立。接着,远端终端通过中继终端向网络侧发送第一条 RRC 消息 (RRCSetupRequest)。如果此时中继终端未处于 RRC 连接态,那么其会触发自身的 RRC 建立流程。之后,网络侧通过中继终端向远端终端回复 RRCSetup 消息并且该消息会通过一个预定义的 PC5 RLC 承载进行传输。随后,网络侧与中继终端执行 Uu 接口的中继信道建立。最后远端终端通过 PC5 接口定义的 SRB1 将 RRCSetupComplete 消息向网络侧传递,当该消息通过中继终端之后,中继终端通过 Uu 接口定义的 SRB1 进一步将该消息向网络侧传递。在所述所有步骤完成之后,远端终端便成功与网络侧建立了 RRC。



1.2.4 服务连续性

对于层二终端到网络中继，需要考虑远端终端在中继连接与 Uu 接口直连之间的路径切换，在这种路径切换的过程中，需要保证服务连续性。但在 Rel-17 中，不考虑远端终端从中继终端 A 向中继终端 B 的切换过程，也不考虑基站之间的中继连接与 Uu 接口直连的路径切换。

对于从中继连接链路向 Uu 接口直连链路的切换过程。其中，比较重要的是，远端终端需要在传统的测量报告中同时携带中继链路和 Uu 链路的测量报告。另外，远端终端会通过目标链路（目标小区的直连链路）并使用目标小区在 RRCReconfiguration 中提供的配置向网络侧反馈 RRCReconfigurationComplete 消息。

对于从 Uu 接口直连链路向中继连接链路的切换过程，其中，需要注意的是，在第一步中，远端终端需要通过进行 SD-RSRP 或 SL-RSRP 找到满足中继连接条件的多个中继终端，并将中继终端上报给网络侧。远端终端需要通过目标路径（中继连接到目标小区的路径）提供的 RRCReconfiguration 配置向目标小区反馈 RRCReconfigurationComplete 消息。

2 sidelink Rel-18 技术展望

2.1 sidelink 增强

Rel-17 sidelink 的研究主要在终端节能以及提升传输可靠性方面，更多的是考虑车联网和公共安全的场景，随着对 sidelink 技术应用在商业场景中的兴趣越来越浓，迫切希望 sidelink 技术能够提供更高的吞吐量以及应用在更加丰富的频谱资源上，从而满足一些商业场景中的需求，如视频共享、AR/VR/XR 等。因此，在 Rel-18 sidelink 中主要包括 3 方面的增强研究^[11]：载波聚合，即通过聚合多个载波达到提供更高带宽资源，从而提高峰值速率；sidelink 在 FR2 频段的应用，在 FR2 频段上可以提供更多的频谱资源，考虑 FR2 上的

信道衰减，需要引入基于波束的侧行发送和接收机制；sidelink 在非授权频谱上的应用，非授权频谱也可以提供大带宽，从而提高传输速率，如何在非授权频谱上和其他通信系统共存是需要解决的问题。

2.1.1 载波聚合

在 Rel-18 的立项文档中清楚地描述到，Rel-18 的载波聚合机制的设计需要基于 Rel-15 LTE V2X 载波聚合的标准定义。具体地，要优先解决载波选择、聚合载波的同步、终端能力受限、多载波同时传输的功率控制以及数据包复制等问题。所涉及的载波属于 FR1 的授权频谱以及 ITS 频带。为了减少工作量，在进行方案设计时，不需要专门为 Rel-17 sidelink 特性进行优化。但要保证后向兼容性，即当进行多播/广播传输时，Rel-16/Rel-17 的终端可以接收 Rel-18 发送的数据包并在 HARQ 反馈激活的情况能成功进行反馈。

在 LTE V2X 多载波系统中，高层会配置业务类型和载波集合的映射关系，在接入层，终端在直通链路终端信息中向网络侧上报对特定层二目标地址终端希望能够使用的载波集合列表。当终端处于模式 3，即基于网络调度的资源分配模式时，网络侧与终端会根据载波集合与层二目标地址按照定义好的规则序列化目标序列，终端在直通链路缓存状态报告（SL-BSR）中上报目标序列后，网络侧即可了解终端希望为某个层二目标地址对应的业务在某个载波上请求资源。当终端处于模式 4，终端需要根据预配置或网络侧配置的优先级与信道繁忙率（channel busy ratio, CBR）域值列表，判断基于当前业务的优先级对应的 CBR 能否使用该载波上的模式 4 资源池。具体地，当终端所测得的特定载波上的 CBR 值低于所配域值时，终端可以选择该特定载波进行使用。另外，在一段时间过后，所选载波的 CBR 会发生变化，如 CBR 高于所配域值，导致该载波不适合继续使用时，终端会触发载波重选。另外，当终端特定

逻辑信道的可靠性需求高于所配置门限值时, 终端需要执行数据包复制, 具体地, 网络侧会为终端配置一对逻辑信道, 分别为原始逻辑信道与复制逻辑信道, 并为各个逻辑信道配置正交的载波集合。终端需要在原始逻辑信道和复制逻辑信道上分别进行载波选择并将数据包进行复制, 通过两个逻辑信道分别发送。

对于 NR sidelink, 考虑一系列新的特性的引入, 载波聚合机制可以在 LTE V2X 设计的基础上进一步优化。首先, LTE V2X 时期并未对接收端终端进行特定的优化, 原因是一般来说终端的接收端能力会强于发送端, 并且对于车联网终端, 没有强烈的节电需求。因此, 接收端终端可以持续在所配置的所有载波上进行接收。但在 NR sidelink 中, 考虑到更多的应用场景, sidelink 终端也不只是车联网终端, 因此接收端的节电方案需要在载波聚合机制中充分考虑。另外, 比较特殊的是, NR sidelink 中存在单播业务, 单播场景中由于 PC5-RRC 连接的存在, 发送端与接收端能够对齐载波集合相关配置以保证通信的可靠性。并且当发送端终端进行载波重选时, 如果接收端终端不在所有载波上持续接收, 那么如何使接收端终端快速地同步发送端终端的载波重选信息是一个需要解决的问题。

2.1.2 sidelink 免授权

直通链路随着无线通信技术的不断演进和发展, 新的通信需求在不断催生新的通信场景, 如智能家居网络和个人 IoT (Internet of things) 通信。各类设备或终端相互之间有很明确的通信需求, 且很大一部分通信交互的数据仅在家庭内部或一定区域范围内的设备间传递, 并不需要通过蜂窝网络传输到外网。sidelink 工作在非授权频谱, 即 SL-U (sidelink-unlicensed), 作为一种新型的无线通信协议, 非常适合这种无线短距离通信的应用场景中。

SL-U 的通信技术方案可以考虑 3GPP R16 NR

sidelink 和 NR-U 两个项目中的关键技术相结合的方案进行设计, 并考虑 sidelink 工作在非授权共享频谱的特点和需求, 进行相应的技术方案增强。

(1) SL-U 系统的帧结构

sidelink 技术工作在非授权频谱时, 系统设计需要考虑相关区域的法规需求, 如信道占用带宽 (occupied channel bandwidth, OCB) 和功率谱密度 (power spectral density, PSD) 需求。如对 5 GHz 频段范围内的非授权频谱, 欧洲的法规需求包括最小信道占用带宽以及最大功率谱密度的需求, 对于 OCB 的需求, 终端使用该信道进行数据传输时, 所占用的信道带宽不低于总信道带宽的 80%。对最大功率谱密度的需求, 文献[12]中的表 4.1.1.1-1 给出了详细规范。针对有 OCB/PSD 法规需求的区域, 现有 NR sidelink 的物理层结构较难满足需求, 可以考虑基于梳齿资源块 (interlaced resource block, IRB) 结构进行 SL-U 系统的帧结构设计, 用于提升频谱利用率, 如图 6 所示。针对无 OCB/PSD 法规需求的区域, 现有 NR sidelink 系统的帧结构以及资源分配粒度的设计可以作为 SL-U 系统设计的基线。

(2) SL-U 系统的物理层过程

• SL-U 系统的信道接入过程

LBT 侦听机制: 在非授权频段工作的有多种无线通信技术 (如 Wi-Fi 等), 为了避免相互之间的冲突和干扰, 发送前需要进行信道侦听以及采取避让措施, SL-U 系统可以考虑 LBT (listen-before-talk) 过程进行信道侦听。针对不同的场景和需求, 可以采用不同的信道接入类型 (如 Type 1 或 Type 2 信道接入)。

信道占用时间 (channel occupancy time, COT) 共享机制: 当终端 LBT 成功并开始传输时, 会同时启动 COT, 在此期间, 该终端可能仅需要占用连续时域资源中的一部分资源, 此时该终端可以与其他终端共享 COT, 进一步提高系统的资源利用效率。

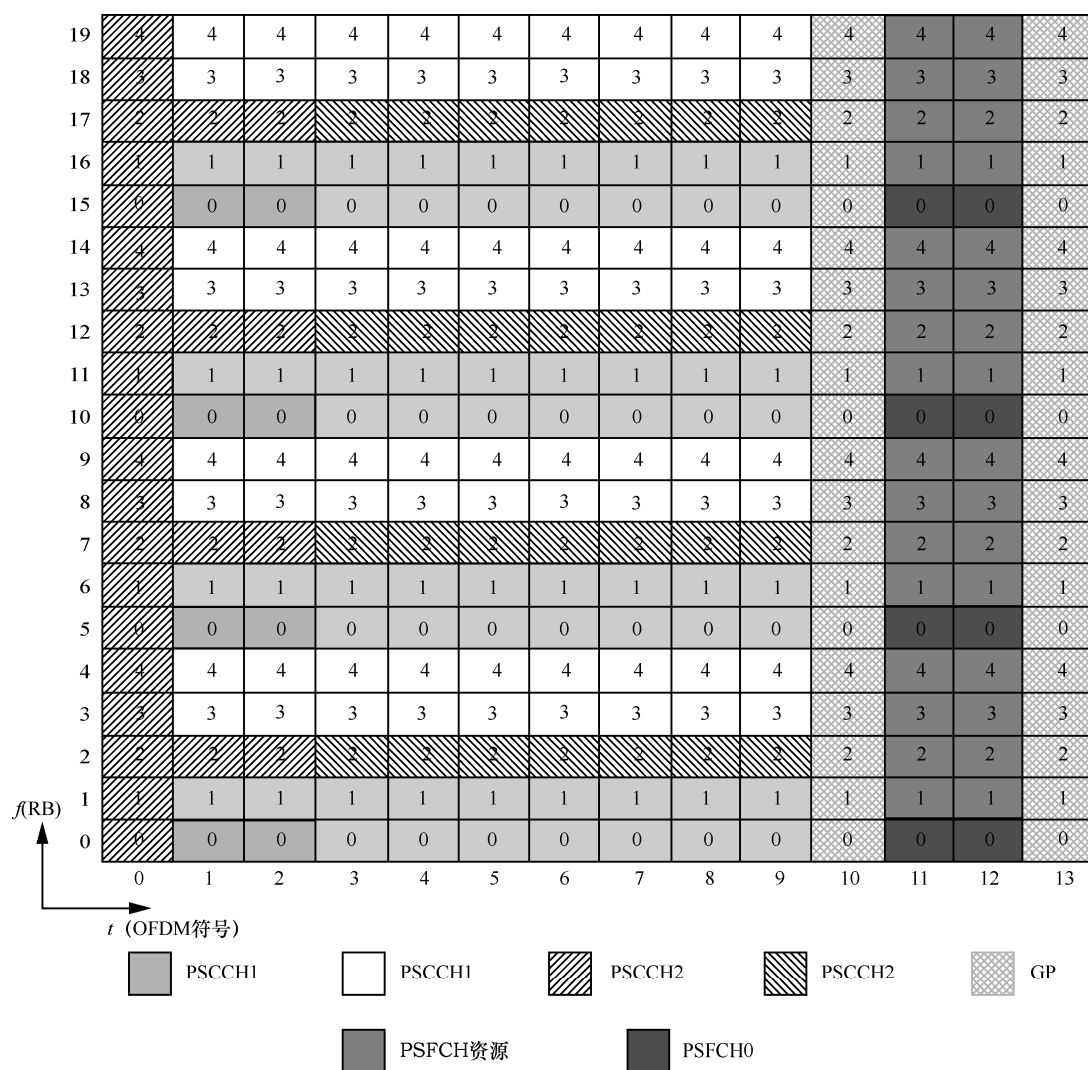


图6 梳齿资源块结构

• SL-U 系统的同步过程

在 SL-U 系统中，由于采用了 LBT 的信道接入机制，会有接入不成功的情况，如果每组 sidelink 的同步资源时隙个数仍然维持与 NR sidelink 中一致，LBT 失败会导致每组可用 S-SSB (sidelink synchronization signal) 的资源数量减少，会进一步降低同步信号的检测性能。因此，可以考虑增加 SL-U 系统中每一组同步资源的个数，保证同步过程的性能。

• 信道状态信息 CSI 测量与上报过程、混合自动重传过程、功率控制过程

SL-U 系统对于 CSI 测量与上报、HARQ 反馈

及功率控制等过程的设计，可以考虑基于现有 NR sidelink 的设计作为基线。由于要考虑满足相应的法规需求，PSFCH (physical sidelink feedback channel) 的频域结构也相应地考虑基于梳齿结构 IRB 的设计。为了应对 LBT 失败所导致的 PSFCH 无法传输的问题，可以考虑两种解决方案：一种方案是增加 PSFCH 传输资源，即一个 PSSCH 对应关联多个 PSFCH 传输资源，从而提高 PSFCH 可传输的机会；另一种方案是采用短控制信令 (short control signaling) 的方式传输 PSFCH，发送 PSFCH 的 UE 根据定义的短控制信令发送准则

来发送 PSFCH, 以此提高 PSFCH 的可传输性。

(3) SL-U 系统的资源分配方案

- **Mode 1:** 在 SL-U 系统中, 当终端和基站之间的上下行链路工作在非授权频谱时, 上下行传输过程会受到 LBT 行为的影响, 将会明显增加侧行调度和侧行反馈过程的复杂度。此外, SL-U 典型应用场景中部署 NR-U 基站的可能性较小, 而且通过工作在非授权频谱的 Uu 接口控制工作在授权频谱的直通链路也尚未支持, 所以只考虑 SL-U 终端与基站之间的上下行链路工作在授权频谱。当终端获取网络分配的侧行传输资源, 针对每个分配的侧行传输资源, 终端需要进行 LBT, 若 LBT 成功则可以利用该资源进行侧行传输, 否则不能使用该资源。
- **Mode 2:** 现有 NR sidelink 中的 Mode 2 资源选择方式中, 终端通过侦听获取可用的侧行传输资源, 类似于 Mode 1, 终端在进行侧行传输前需要进行 LBT, 根据 LBT 的结果判断是否可以利用该资源进行侧行传输。因此, 在 SL-U 系统的 Mode 2 中, 终端采用 LBT+sensing 的机制进行侧行传输, 其中, LBT 用于避免与异系统传输的干扰, sensing 用于避免同系统终端之间的干扰。

2.1.3 sidelink 高频

NR sidelink 无论应用于车联网场景还是商业场景, 都对传输速率具有非常高的要求。由于在高频段具有更大的可用带宽, 因此, 将 NR sidelink 工作在高频可以在一定程度上满足高传输速率的需求。而在高频段, 无线信号传播的损耗增大, 通常采用波束成形的方式进行信号的发送和接收以提高信号的传输距离。由于 NR Uu 系统中已经标准化了波束管理机制, NR sidelink 系统的波束管理机制可以以 NR Uu 系统的波束管理机制作为基础进行研究。考虑 NR sidelink 系统与 NR Uu

系统的不同, 对 NR sidelink 系统的波束管理机制进行相应的增强。另外, 在 NR sidelink 系统中, 支持单播、多播和广播传输方式, 只在单播传输方式中引入了 sidelink CSI-RS 及 CSI 上报机制, 并且只有在单播传输方式中支持终端之间进行 PC5-RRC 连接, NR sidelink 系统的波束管理机制可以只考虑单播传输场景。对于多播或广播传输方式, 可以采用波束轮询的方式进行侧行数据的轮流发送, 接收端可以采用全向天线进行接收。

NR sidelink 系统的波束管理需要解决下面几方面的问题。

(1) 用于 sidelink 波束管理的参考信号

在 NR Uu 的下行波束管理中, 可以采用同步信号块 (synchronization signal block, SSB) 或 CSI-RS 进行波束选取, 但是在 sidelink 系统中, 侧行 SSB (S-SSB) 的资源是所有终端共享的, 即多个终端使用相同的资源发送 SSB。并且, 在 S-SSB 中只包括公共的标识 (Identity, ID), 不包括用户的 ID 信息, 因此, S-SSB 不适用于 sidelink 系统的波束管理过程, sidelink 的波束管理可以基于 sidelink CSI-RS。但是现在 NR sidelink 系统的 CSI-RS 只支持发送端向接收端通过 PC5-RRC 信令配置一个 CSI-RS 图案, 为了支持波束选取过程, 需要引入 CSI-RS 资源集合, 每个 CSI-RS 资源集合中配置多个 CSI-RS 资源。

(2) 确定发送波束的过程

由于 sidelink 的数据传输是在两个终端之间进行的, 因此, 在波束管理过程中只需要确定从发送端到接收端的发送波束和接收波束即可。在确定发送波束的过程中, 发送端使用不同的波束分别发送不同的 CSI-RS 资源, 接收端用相同的接收波束进行接收, 并且针对检测到的 CSI-RS 进行测量, 根据测量结果选取 N 个优选的 CSI-RS 资源, 将该 N 个 CSI-RS 资源信息及其相应的测量结果反馈给发送端, 从而使得发送端可以根据该测量结果选取最优的发送波束。发送端可以向接



收端配置传输配置指示状态（transmission configuration indicator state, TCI-state）集合，在 TCI-state 中包括参考信号信息，即该 TCI-state 相关联的 CSI-RS 资源信息，并且指示 QCL-TypeD 类型。当发送端利用选取的发送波束进行数据发送时，向接收端指示 TCI-state 信息，接收端根据该 TCI-state 信息可以确定与其关联的 CSI-RS 资源信息，进而确定接收该 CSI-RS 资源时所使用的接收波束，并利用该接收波束进行侧行数据的接收。

为了支持上述发送波束的选取过程，需要对现有的 NR sidelink 系统进行相应的增强。

- 支持配置 CSI-RS 资源集合，该资源集合包括多个 CSI-RS 资源；从而使得发送端可以利用不同的波束发送不同的 CSI-RS 资源。
- 支持接收端向发送端上报 CSI-RS 资源以及测量结果，从而使得发送端可以从中选取优选的 CSI-RS 资源，确定该 CSI-RS 资源所对应的发送波束为优选的发送波束，该测量结果可以是 sidelink RSRP。
- 支持发送端向接收端配置 TCI-state 集合，发送端可以通过指示不同的 TCI-state 实现发送波束的切换；
- 支持发送端向接收端指示 TCI-state，从而发送端可以通过指示 TCI-state 隐式地指示所使用的发送波束，接收端可以根据 TCI-state 信息隐式地确定该 TCI-state 信息关联的 CSI-RS 资源所对应的接收波束。

（3）确定接收波束的过程

在确定接收波束的过程中，发送端用相同的发送波束发送 CSI-RS，接收端使用不同的接收波束分别接收并进行测量，进而选取最优的接收波束。在此过程中，接收端提前获知发送端发送 CSI-RS 的资源，从而才能用相应的接收波束进行接收。而在 NR sidelink 系统中，当终端通过自主选取传输资源时，即使终端指示预留了传输资源，也可能因为重评估（re-evaluation）或抢占

（pre-emption）等因素使终端发送资源重选，因此接收端很难准确获知发送端的传输资源。为了更加有效地进行接收波束选取，可以在资源池中激活 re-evaluation/pre-emption 机制，使发送端预留的传输资源不会进行资源重选。

（4）发送端如何指示波束信息

在 NR Uu 系统中，基站通过在 DCI 中携带 TCI-state 信息，用于指示该 DCI 调度的 PDSCH 所使用的波束信息，由于 DCI 和 PDSCH 是在不同时刻传输的，因此，终端可以先检测 DCI，获取 TCI-state 信息，进而确定 PDSCH 所用的波束信息。但是在 NR sidelink 系统中，SCI 与其调度的 PSSCH 在同一时隙中传输，接收端在检测 SCI 前需要将数据接收再进行检测，因此，无法通过与 PSSCH 同时发送的 SCI 中携带发送波束指示信息，发送端只能提前指示后续的侧行传输所使用的发送波束信息。

2.1.4 NR 与 LTE sidelink 技术共存

目前，某些国家、地区可以用于 V2X/sidelink 技术的专属频率资源（如 ITS 频谱）非常稀少，而 NR sidelink 的主要应用业务又需要较大的频率资源用于传输高数据速率。因此，需要支持 NR sidelink 与 LTE sidelink 技术在频域信道共存。NR sidelink 与 LTE sidelink 共存技术在保证支持基本业务、高级业务正常运作的基础上，提升了整个系统的性能，增加了频谱的利用率，而且提升了 sidelink 技术在不同场景中部署的灵活度。潜在考虑的增强点包含以下内容。

- NR sidelink 与 LTE sidelink 动态频谱共享解决方案，在保证 LTE sidelink 技术不变的基础上，对 NR sidelink 技术进行增强，确保二者之间的相互干扰达到最小，如资源池如何设计区分，不同子载波间隔和时隙长度如何共存等问题都需要进一步研究解决。
- NR sidelink 与 LTE sidelink 间切换的方案，当终端设备无法同时支持 NR sidelink 和

LTE sidelink 技术时,如何在两者之间平滑地无缝切换就成了一个需要解决的重要问题。此外,更高级业务包含时间触发等不确定性,不同的切换触发条件也需要进一步研究。

2.2 sidelink 中继增强

在 Rel-18 中,中继项目可以看作对 Rel-17 中继项目的进一步扩充优化。在 Rel-17 中继项目启动时的研究阶段,同步研究了终端到终端的中继场景与终端到网络的中继场景,只不过在后期标准化阶段考虑工作量过大,因此优先完成终端到网络的中继场景。另外,对于服务连续性的考虑,Rel-17 仅讨论基站内的中继连接与 Uu 接口直连之间的链路切换时的服务连续性,在 Rel-18 中,服务连续性的考虑场景会更加复杂。最后,在 Rel-17 中,对层二中继,远端终端同一时刻只能保持一条连接网络侧的活跃链路。但在 Rel-18 中,会进一步考虑远端终端的多连接场景^[13]。

2.2.1 终端到终端的中继

对于终端到终端的中继场景,同样需要区分层二架构与层三架构。对于层二与层三架构所存在的共性问题,如中继的发现流程与中继终端的选择过程,需要优先被讨论并定义清楚。但对于发现流程与中继终端的选择,为了尽可能地保证讨论进度并减轻工作量,Rel-17 中定义的机制也需要被尽可能地复用。另外,在 Rel-17 终端到网络中继的讨论中,适配层需要同时存在于 Uu 接口协议栈与 PC5 协议栈。因此,在终端到终端的中继场景中,能否直接复用 Rel-17 定义的 PC5 适配层设计是需要确定的问题。在终端到终端的中继场景中,与传统直通链路单播通信最大的区别是存在两段 PC5 链路,因此在 Rel-16 NR V2X 中定义的 PC5-RRC 建立过程无法直接复用。那么控制面配置信令如何在源远端终端、中继终端与目标远端终端之间交互完成需要在终端到终端的中继场景中重新讨论并定义。

2.2.2 服务连续性

在 Rel-18 的中继立项文档中描述到,Rel-18 对于服务连续性的优化需要被限制在单跳的层二终端到网络的中继中,并聚焦于图 7 所示的 4 个应用场景中,具体地,场景一需要支持基站间的 Uu 接口直连链路到中继链路间的切换,反之场景二需要支持基站间的中继链路到 Uu 接口直连链路的切换。场景三与场景四需要支持基站内与基站间的中继链路 A 到中继链路 B 的切换。

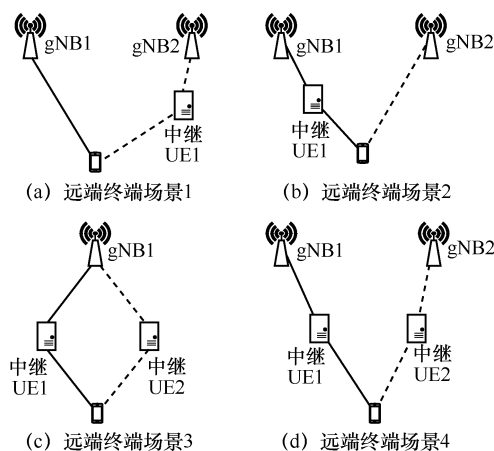


图 7 Rel-18 服务连续性的适用场景增强

其中,场景一与场景二类似于传统终端在基站间进行切换,会产生基站间额外的信令交互。对于场景三与场景四,为了进一步减小远端终端在执行切换过程所造成的时延损耗,是否需要在中继终端 1 与中继终端 2 之间引入额外的信令交互流程也是可以被考虑的。另外,在 Rel-17 中,只考虑了基础的切换过程,基于条件的切换 (conditional handover, CHO) 过程作为优化方案并未纳入标准中。到 Rel-18,针对以上场景,也可以考虑如何使用 CHO 进一步缩短切换时延。

2.2.3 多路径传输

在 Rel-18 中,为中继场景引入多路径传输的目的是为了进一步提高通信的可靠性与吞吐量。具体地,终端可以通过一条直接路径与一条间接路径连接到同一个基站。间接路径可以通过层二终端到网络中继实现,或者通过终端之间的理想



连接实现。

对于多路径传输的方案设计，需要从两个方向进行考虑。首先，在 Rel-17 中，终端到网络的中继方案完全基于单链路架构。因此，需要考虑 Rel-17 中的方案细节是否能沿用多连接架构，包括发现过程、中继终端选择过程、授权与认证过程以及控制面信令交互过程等。

另外，需要考虑 Uu 接口针对多链接的设计思路是否能沿用终端到网络中继的多连接场景，包括切换过程、测量上报过程、主副小区的添加与释放过程以及主副小区的类型转化等。另外如果保留 Uu 接口的载波聚合功能，那么在终端到网络中继场景中，是否需要进一步优化也是需要额外考虑的。

2.3 sidelink 定位

在 3GPP Rel-17 中，3GPP RAN 对侧行定位的用例及 V2X 和公共安全业务的定位需求进行了研究，对 3GPP 和其他相关组织确定的侧行定位用例及需求进行了总结^[14]。侧行定位的相关用例主要包括 V2X 和公共安全。

V2X 方面的定位要求取决于 UE 所执行的 V2X 业务类型，此外，根据不同的用例或定位服务级别，这些要求适用于相对和绝对定位。就水平或纵向/纵向精度而言，绝对位置或相对位置最高精度要求为 0.1~0.5 m，置信度为 95%~99%。根据不同的定位服务级别，垂直维度的定位精度要求为 2~3 m（绝对）或 0.2 m（相对），定位服务可用性为 95%~99.9%，定位服务时延为 10 ms~1 s。

研究中也明确了公共安全方面“第一响应者（1st Responder）”用例的定位要求，包括 1 m 水平精度、2 m（绝对）或 0.3 m（相对）垂直精度，95%~98% 定位服务可用性。

在 V2X 用例中，定位服务需要能够支持室内、室外和隧道区域，需要支持高达 250 km/h 的 UE 速度。公共安全用例中，定位服务也需要能够支持室内和室外区域。无论 UE 在网络覆盖范围内

还是在网络覆盖范围外，基于全球导航卫星系统的定位不可用或不够精确时，这些定位需要能够满足要求。

在 Rel-18，3GPP 将针对 Rel-17 中确定的用例和性能要求进行侧行定位的研究工作，后续将会根据研究结果标准化相应的技术方案^[15]。在前期的研究工作中，将重点评估侧行定位潜在方案在相对定位和绝对定位方面的性能和可行性，包括：

- 考虑决定定位、测距/测向及相对定位；
- 研究侧行测量和 Uu 接口测量相结合的定位方法；
- 研究侧行定位参考信号，包括信号设计、物理层控制信令、资源分配、物理层测量量及相关的物理层过程等；
- 研究定位系统架构及信令过程，如配置、测量上报等。

3 sidelink 长期技术展望

目前，sidelink 依托于车联网应用场景，得益于国家政策的大力扶持，正在为全面商用进行积极有效的快速部署。但考虑现阶段车联网技术仍然基于 Rel-15 LTE V2X 的标准开发，因此对于应用场景，通信性能与频谱资源都存在一定的发展限制。另一方面，对于中继网络，由于设备成本、部署难度以及通信安全问题的存在，至今未被大规模商用。因此，在未来，将 sidelink 技术与其他新技术进行融合弥补自身的技术缺陷仍然是有必要的。

首先，区块链作为现阶段一个主流的技术方向，其本身就应用于去中心化的通信网络。另外由于区块链的账本机制使网络数据难以被肆意更改，有效地保证了区块链网络的安全性。可以考虑将区块链技术作为工具，应用于 sidelink 技术，提升 sidelink 网络的安全性^[16]。另外，智能超表面（intelligent reconfigured surface, IRS）是 6G 概念中一个多次被提及的主流方向，IRS 是一种由

大量超材料单元构成的无源阵列,能以很低的功耗和成本灵活调控无线环境的电磁波,从而大幅提高接收信号质量^[17]。可以观察到,IRS 的应用原理与 sidelink 中继的技术概念非常类似,二者均通过间接方式将数据信号转发给目标终端,不过 IRS 作为无源设备,大规模部署更加灵活也更加低廉。因此,对 sidelink 中继技术进一步改进使其可以应用于 IRS。另一个可考虑的技术是网络编码,网络编码融合了路由和编码两种信息技术,其核心思想是对网络数据传输过程各个节点的信息进行处理并传输给下游节点,中间节点扮演着编码或信号处理的角色,最终节点对网络数据进行演绎还原,以减少传输复制过程,从而提高传输效率^[18]。通过网络编码可以有效提高无线资源使用效率。对于 sidelink 技术,本身就存在无线频谱资源受限的问题,若能通过网络编码提高资源使用效率,可以进一步推进 sidelink 技术在其他领域的商用进度。

4 结束语

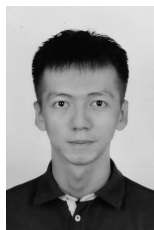
本文首先对 Rel-17 现阶段 sidelink 增强课题与 sidelink 中继课题的讨论进展进行了充分的解释,之后对 Rel-18 sidelink 各个课题中目前所确定的技术特征给出了可能的思考方向。另外,讨论了目前 sidelink 技术中仍然存在的技术缺陷,并提出将 sidelink 技术与各种新技术进行融合考虑,为之后的长期演进提供可行的思路。

参考文献:

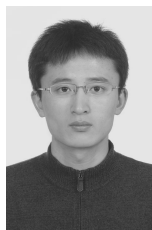
- [1] KRENZ R. IEEE 802.16 wireless mesh networks capacity estimation using collision domains[C]//Proceedings of 2009 Second International Conference on Advances in Mesh Networks. Piscataway: IEEE Press, 2009: 115-119.
- [2] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X Services (Release 15): TR 22.886 V15.3.0[S].2018.
- [3] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; architecture enhancements for 5G system (5GS) to support vehicle-to-everything (V2X) services (Release 16): TS 23.287[S]. 2020.
- [4] 3GPP. TSG RAN Meeting #90e, RP- 202846 WID revision: NR sidelink enhancement[R]. 2020.
- [5] 3GPP. TSG RAN Meeting RAN1 #104-e, R1-2102281, Report of RAN1#104-e meeting[R]. 2021.
- [6] 3GPP. TSG RAN Meeting #93e, RP 212601 New WID on NR sidelink Relay[R]. 2021.
- [7] ZHANG B Y, LU Q X, SHI C, et al. sidelink relay in NR and NR advanced[C]//Proceedings of 2021 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC Workshops). Piscataway: IEEE Press, 2021: 358-362.
- [8] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; study on system enhancement for proximity based services (ProSe) in the 5G System (5GS) (Release 17): TR 23.752 v17.0.0[S]. 2021.
- [9] 3GPP. Technical specification group services and system aspects; proximity-based services (ProSe); Stage 2 (Release 16): TS 23.303 v16.0.0[S]. 2020.
- [10] 3GPP. Technical specification group radio access, network; study on NR sidelink relay; (Release 17): TR 38.836 V2.0.0[S]. 2021.
- [11] 3GPP. TSG RAN Meeting #94e, RP-213678, New WID on NR sidelink evolution[R]. 2021.
- [12] 3GPP. Technical specification group radio access, study on NR-based access to unlicensed spectrum (Release 16): TR 38.889 V16.0.0[S]. 2018.
- [13] 3GPP. TSG RAN Meeting #94e, RP-212712 New WID on NR sidelink relay enhancements[R]. 2021.
- [14] 3GPP. Technical specification group radio access network; study on scenarios and requirements of in-coverage, partial coverage, and out-of-coverage NR positioning use cases (Release 17): TR 38.845 V17.0.0[S]. 2021.
- [15] 3GPP. TSG RAN Meeting #94e Electronic new WID on NR positioning enhancements, meeting[R]. 2021.
- [16] YU X, SHU Z X, LI Q, et al. BC-BLPM: a multi-level security access control model based on blockchain technology[J]. China Communications, 2021, 18(2): 110-135.
- [17] ZHANG H L, DI B Y, HAN Z, et al. Reconfigurable intelligent surface assisted multi-user communications: how many reflective elements do we need? [J]. IEEE Wireless Communications Letters, 2021, 10(5): 1098-1102.
- [18] KATTI S, RAHUL H, HU W J, et al. XORs in the air: practical wireless network coding[C]//Proceedings of the 2006 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications-SIGCOMM '06. New York: ACM Press, 2006.



作者简介：



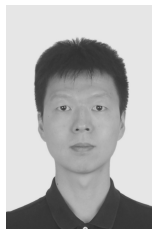
张博源（1992- ），男，OPPO 研究院标准研究部 RAN2 高级标准研究员，主要从事 Rel-17 sidelink 中继标准化推动工作。



张世昌（1983- ），男，OPPO 研究院标准研究部高级通信标准工程师，主要从事 LTE 及 NR sidelink 的物理层技术研究工作。



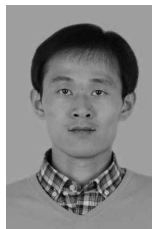
黄学艳（1987- ），女，中国移动通信有限公司研究院 RAN2/3 标准化代表，主要从事 Rel-17 sidelink 中继 RAN2/3 研究和标准化推动工作。



马腾（1988- ），男，OPPO 研究院标准研究部高级通信标准工程师，主要从事 LTE V2X、NR V2X & sidelink、NR MBS 等物理层技术研究工作。



赵振山（1978- ），男，博士，OPPO 研究院标准研究部高级通信标准工程师，主要从事 LTE/NR sidelink 物理层技术研究和标准化推动工作。



刘亮（1983- ），男，博士，中国移动通信有限公司研究院技术经理、主任研究员，主要研究方向为无线通信中的信号处理、移动通信系统无线网络架构和协议、网络智能化和自动化等。