



通信与信息技术

Communication & Information Technology

国内统一连续出版物号：CN 51-1635/TN

国际标准出版物号：ISSN 1672-0164

邮发代号：62-166

题目：NR V2X 终端侧行链路测试方法和系统

作者：阿拉塔，王晰

优先出版日期：2024年9月2日

万方网站：<https://w.wanfangdata.com.cn/>

优先出版：优先出版是指编辑部录用并定稿的文章，通过具备网络出版资质的数字出版平台，先于印刷版杂志出版日期出版，文章内容、排版已定稿，视作正式出版。为确保录用定稿优先出版文章的严肃性，文章一经发布，不得修改题目、作者、作者排序、工作单位，只可基于编辑规范进行少量文字修改。

《通信与信息技术》为双月刊，逢单月底出刊，是国内外公开出版的自然科学学术期刊，设置了运营一线、热点技术、行业观察、解决方案、专网通信等栏目。

办刊宗旨：面向行业，沟通社会；宣传政策，促进发展；为通信发展服务，为通信企业服务，为通信科技人员和职工服务，为广大通信消费者服务，集信息性、行业性、技术性为一体的综合类通信刊物。

NR V2X 终端侧行链路测试方法和系统

阿拉塔¹, 王晰²

1. 中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095

2. TD 产业联盟, 北京 100191

摘要: 提出了一种针对 5G 车用无线通信终端侧行链路的一致性测试方法和系统, 包括 NR V2X 一致性测试系统架构、测试环境配置和测试方法设计。该测试方案有效提高了 NR V2X 待测终端与对等终端及网络的基础通信正确率, 为车联网终端互联互通提供可靠保障。

关键词: NR; V2X; 侧行链路; 终端一致性测试

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

1 引言

随着科技的发展, 智能车辆越来越广泛地进入到人们的日常生活中, V2X (Vehicle-to-Everything, 车联万物) 是用于车联网中车辆与其他人、车等对象交换信息的无线通信技术。V2X 服务类型可包括 V2V (Vehicle-to-Vehicle, 车辆到车辆)、V2P (Vehicle-to-Pedestrian, 车辆到行人)、V2I (Vehicle-to-Infrastructure, 车辆到基础设施)、V2N (Vehicle-to-Network, 车辆到网络)^[1]。

LTE (Long Term Evolution, 长期演进) V2X 由 3GPP Rel-14 和 Rel-15 技术规范定义。其中, Rel-14 在蜂窝通信中引入了支持 V2X 短距离直通通信的 PC5 接口, 支持面向基本道路安全业务的通信需求, 主要实现辅助驾驶功能, 已于 2017 年 3 月完成。3GPP Rel-15 技术规范定义对 LTE-V2X 侧行链路进行了增强, 包括多载波操作、高阶调制 (64QAM)、发送分集和时延缩减等新技术特性, 于 2018 年 6 月完成^[2]。

NR (New Radio, 新空口) V2X 从 3GPP Rel-16 开始引入。Rel-16 是第一个基于 5G NR 版本, 定义了 NR PC5 接口和 Uu 接口增强, 主要用于支持车辆编队行驶、远程驾驶、传感器扩展等高级道路安全服务的 V2X 业务需求, 于 2020 年 6 月完成^[3]。Rel-17 针对弱势道路参与者的应用场景, 解决直通链路中终端节省功耗、提高可靠性和降低传输时延等问题, 以及支持 UE-to-Network 中继覆盖扩展增强, 于 2022 年 3 月完成。为了覆盖移动性场景, Rel-18 研究支持 UE-to-UE 中继、

UE-to-Network 中继的服务连续性增强和支持多路径中继, 远程终端通过直接和间接路径连接到网络, 有可能提高可靠性/稳健性以及吞吐量。3GPP NR V2X 终端一致性规范方面, Rel-16 项目于 2020 年 6 月立项, 截至 2024 年 5 月完成了 65%; Rel-17 项目于 2022 年 6 月立项, 截至 2024 年 5 月完成了 25%; Rel-18 还未开展。

当前智能网联汽车市场正处于 4G/5G 迭代窗口期, V2X 4G 芯片、模组、测试仪表正处于面向 5G 升级转型的阶段。而 NR V2X 的终端一致性测试依赖于仪器仪表厂商的硬件支持, 主流厂商大唐联仪、是德科技、罗德施瓦茨都已提供 LTE-V2X 的一致性测试解决方案, 且将支持 5G NR V2X 的未来版本。如大唐联仪有 LTE-V2X 射频协议一致性测试系统和 5G 综测仪 CTP3550 支持向 NR-V2X 演进^[4]。是德科技 5G RF/RRM DVT 及一致性工具套件支持 UTRAN (Uu) 和 PC5 链路 C-V2X 端到端信令测试功能和 C-V2X 射频一致性测试^[5]。芯片方面, 高通在 C-V2X 芯片领域具有领先优势, 发布的骁龙汽车 4G/5G 平台支持 C-V2X PC5 接口和 4G/5G Uu 接口, 可进一步开发 PC5 和 Uu 融合解决方案^[6]。

文中介绍了一种针对 5G 车用无线通信终端侧行链路的一致性测试方法和系统, 运用主计算机 Host PC 上的代码配置 V2X 侧行链路相关参数, 控制网络系统模拟器、终端模拟器、卫星模拟器生成测试环境, 测试 NR V2X 待测终端单播、组播和广播通信模式的 NR PC5 接口和 Uu 接口侧行链路功能。该测试方案将有效提高 NR V2X 待测终端与对等终端及网络

的基础通信的正确率,为车联网终端互联互通提供可靠保障。

2 NR V2X 功能概述

NR V2X通信架构示意图如图1所示^[7],可以使用PC5接口和/或Uu接口为V2X服务提供通信^[8]。其中,UE (User Equipment, 用户终端)和RAN (Radio Access Network, 接入网)间的链路为上/下行链路(UL/DL),对应Uu接口,UE和UE间的链路为侧行链路(SL, Sidelink, 也称直通链路),对应PC5接口。无论终端网络覆盖如何,都可通过PC5接口进行直接通信。对比LTE V2X侧行链路通信仅支持广播通信模式, NR V2X侧行链路通信新增加了单播和组播通信模式。

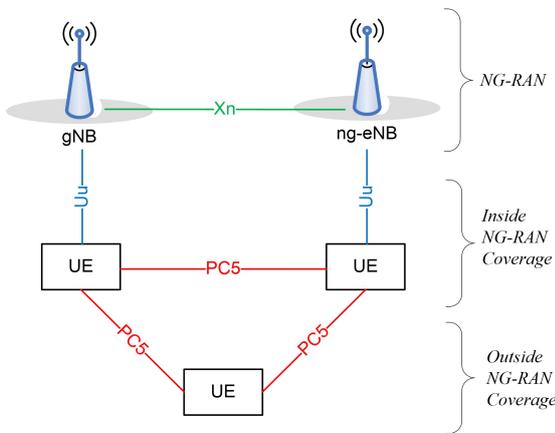


图1 NR V2X 通信架构示意图

2.1 NR PC5 接口协议栈

NR PC5接口协议栈分为用户面协议栈和控制面协议栈。

2.1.1 NR PC5接口用户面协议栈

与LTE PC5接口用户面协议栈相比^[1],引入SDAP层以完成QoS Flow到SLRB的映射。NR PC5-U用户面协议栈如图2所示。

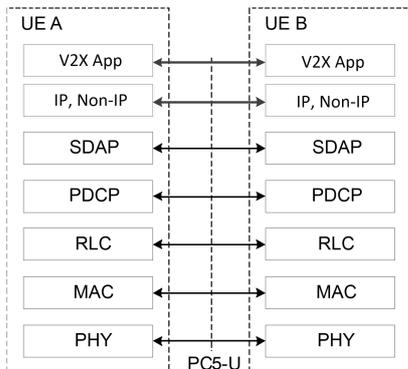


图2 NR PC5-U 用户面协议栈

2.1.2 NR PC5接口控制面协议栈

与LTE PC5接口相比,增加了用于单播通信的PC5-RRC和PC5-S控制面协议栈。NR PC5接口控制面协议栈根据传输

的控制消息类型的不同,分为以下三类:

NR PC5-RRC控制面协议栈:用于传输PC5-RRC消息,仅适用于PC5接口单播通信^[7]。NR PC5-RRC控制面协议栈如图3所示。

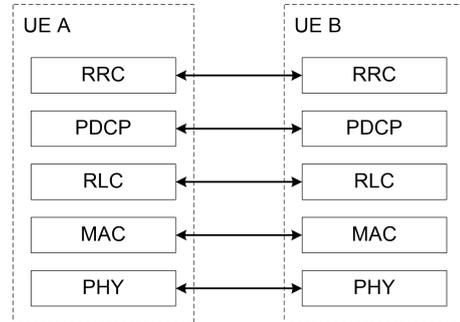


图3 NR PC5-RRC 控制面协议栈

NR PC5-S控制面协议栈:用于传输PC5-Signalling消息,仅适用于PC5接口单播通信^[7]。NR PC5-S控制面协议栈如图4所示。

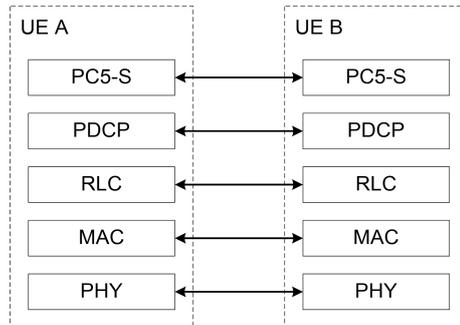


图4 NR PC5-S 控制面协议栈

NR PC5 SBCCH控制面协议栈:用于传输PC5接口的同步信号和侧行链路系统消息^[7]。NR PC5 SBCCH控制面协议栈如图5所示。

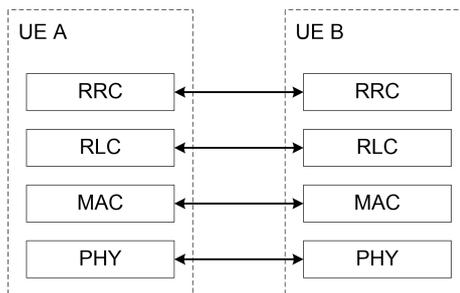


图5 NR PC5 SBCCH 控制面协议栈

单播通信中, PC5-RRC连接是一对Source Layer-2 ID和Destination Layer-2 ID间的逻辑连接。PC5-S连接和PC5-RRC连接是一一对应的,当PC5-S连接建立或释放时, PC5-RRC连接也相应建立或释放。NR PC5单播链路的加密/完整性保护算法和参数由PC5-S安全建立过程配置,一旦安全性被激活,相应PC5-RRC连接的SL-SRB2和SL-SRB3的所有消息和

/或SL-DRB的用户数据都将由PDCP层提供完整性保护和/或加密^[9-10]。SL RB (Sidelink Radio Bearer) 包括:

SL-SRB0: 用于承载安全未建立之前的PC5-S消息;

SL-SRB1: 用于承载建立PC5安全的PC5-S消息, 即 Direct Security Mode Command 和 Direct Security Mode Complete消息;

SL-SRB2: 用于承载安全建立之后的其他PC5-S消息;

SL-SRB3: 用于承载安全建立之后的PC5-RRC消息;

SL DRB: 用于承载PC5用户数据。

组播通信中, 应用层负责组的建立、维护和管理, 接入层无需一对多侧行链路连接建立过程。组播和广播通信, 用户面数据传输不支持加密和完保^[9-10]。

2.2 NR V2X 相关功能

NR PC5接口V2X相关功能包括: 读取网络系统消息、上报侧行链路UE相关信息到网络、传输侧行链路信号同步、发送和接收侧行链路数据。对于单播通信, 还包括PC5-RRC信令过程和PC5-S信令过程。其中, PC5-RRC信令过程有建立/修改/释放SL DRB、侧行链路测量上报、侧行链路CSI配置和上报、侧行链路交互UE能力、侧行链路无线链路失败过程等^[9]; NR PC5-S信令过程有V2X策略配置、PC5单播链路建立/修改/释放、标识更新、鉴权、安全控制、秘钥更新、保持连接等^[8]。

NR Uu接口V2X相关功能包括: V2X相关系统消息获取、侧行链路专用配置重配、侧行链路信道忙率上报、移动性相关操作等^[8-9]。

3 NR V2X 终端侧行链路一致性测试方法

由于NR V2X终端的PC5和Uu功能, 支持的通信模式与以往LTE终端有很大区别, 提出了一种5G终端V2X功能的一致性测试方法, 测试NR V2X终端处于在网、脱网或部分在网场景, 采用单播、广播或组播通信模式下, 终端根据不同的资源配置, 是否能正确完成侧行链路信令和数据传输等操作。

3.1 NR V2X 测试配置

3.1.1 网络覆盖测试场景

选择一种网络覆盖测试场景, 包括: 被测终端和终端模拟器均在网络覆盖范围内、均在网络覆盖范围外或被网络部分覆盖。在网络覆盖范围内可包括终端处于RRC_CONNECTED、RRC_IDLE或RRC_INACTIVE三个RRC状态。

3.1.2 通信模式

选择单播、组播或广播其中一种作为待测侧行链路的通信模式。

3.1.3 侧行链路信号同步参考源配置

根据不同的测试场景, 可以配置待测终端选择基站同步、GNSS同步或终端同步作为同步参考源。待测终端的侧行链路信号同步参考源配置选择包括以下的一种或多种方式:

通过USIM卡参数EFV2XP_PC5预配置V2XP (V2X policy) 参数^[11-12];

在网络覆盖范围内, 通过Uu系统广播消息SIB12配置^[9];

在网络覆盖范围内, 处于RRC_CONNECTED状态, 通过Uu NAS信令携带MANAGE UE POLICY COMMAND消息配置V2XP参数^[12-13];

在网络覆盖范围内, 处于RRC_CONNECTED状态, 通过Uu RRC重配RRCReconfiguration信令配置^[9]。

上述配置方式中, 具体可以通过配置SIB12中的sl-FreqInfoList的sl-SyncPriority、sl-SyncConfigList、sl-NbAsSync, RRCReconfiguration中sl-ConfigDedicatedNR的sl-FreqInfoToAddModList的sl-SyncPriority、sl-SyncConfigList, V2XP中SL-PreconfigurationNR的SidelinkPreconfigNR的sl-SyncPriority、sl-SyncConfigList、sl-NbAsSync等同步参考源参数, 确定侧行链路使用的同步源优先级规则和同步参数。

3.1.4 侧行链路调度模式和资源池配置

NR V2X资源分配包括两种模式: mode 1 (网络调度的资源分配模式), mode 2 (自主选择的资源分配模式)。NR V2X资源池分为: 网络调度发送资源池或自主选择发送资源池、特殊发送资源池、接收资源池。其中, 特殊发送资源池用于切换、重建等移动性事件发生时使用。根据不同的测试场景, 待测终端的侧行链路调度模式和资源池配置方式包括以下方式的一种或多种:

通过USIM卡参数EFV2XP_PC5预配置V2XP参数^[11-12];

网络覆盖范围内, 通过Uu系统广播消息SIB12配置^[9];

网络覆盖范围内处于RRC_CONNECTED状态, 通过Uu NAS信令携带MANAGE UE POLICY COMMAND消息配置V2XP参数^[12-13];

网络覆盖范围内处于RRC_CONNECTED状态, 通过Uu RRC重配RRCReconfiguration信令配置^[9]。

上述配置方式中, 具体可以配置SIB12中sl-FreqInfoList的sl-RxPool、sl-TxPoolSelectedNormal、sl-TxPoolExceptional, RRCReconfiguration中sl-ConfigDedicatedNR的sl-FreqInfoToAddModList的sl-RxPool、sl-TxPoolSelectedNormal、sl-TxPoolScheduling、sl-TxPoolExceptional、sl-ScheduledConfig、sl-UE-SelectedConfig, V2XP中SL-PreconfigurationNR的SidelinkPreconfigNR的sl-RxPool、sl-TxPoolSelectedNormal等调度模式的配置, 确定侧行链路的调度模式和该调度模式下用于传输和接收的网络调度或自主选择发送资源池、特殊发

送资源池、接收资源池参数配置信息。当待测终端处于覆盖范围内RRC_CONNECTED状态时，采用mode 1（网络调度的资源分配模式）或mode 2（自主选择的资源分配模式）。当待测终端处于覆盖范围内RRC_IDLE或RRC_INACTIVE状态或覆盖范围外时，采用mode 2资源分配模式。

3.2 NR V2X 测试环境搭建

根据场景需要，主计算机控制网络系统模拟器NW-SS建立一个或多个小区。

根据场景需要，主计算机控制卫星模拟器GNSS-SS传输卫星信号，提供GNSS同步信号、地理位置、位移等信息。

主计算机控制终端模拟器UE-SS建立一个或多个NR V2X测试对等终端。

根据场景需要，主计算机控制终端模拟器UE-SS传输SLSS（Sidelink Synchronization Signal，侧行链路同步信号）和Master Information Block Sidelink消息。

配置待测终端USIM中EF_{UST}、EF_{VST}、EF_{V2X_PC5}等V2X服务参数和侧行链路预配置参数。

对于网络覆盖范围内场景，NW-SS建立小区，根据信号同步源的配置，可选地GNSS-SS传输卫星信号和/或UE-SS传输SLSS和Master Information Block Sidelink消息；对于网络部分覆盖场景，NW-SS建立小区，根据信号同步源的配置，GNSS-SS传输卫星信号和/或UE-SS传输SLSS和Master Information Block Sidelink消息；对于网络覆盖范围外场景，GNSS-SS传输卫星信号和/或UE-SS传输SLSS和Master Information Block Sidelink消息，根据信号同步源的配置，可选地NW-SS建立小区。

待测终端中使用的、带有V2X服务参数和侧行链路预配置参数的USIM卡，可以向待测终端中插入配置好的USIM实体卡，也可以采用卡模拟器的方式配置并模拟USIM卡。

3.3 NR V2X 测试步骤设计

主计算机控制待测终端开机。

若选择网络覆盖范围内场景，主计算机控制待测终端注册。

若测试单播，主计算机控制终端模拟器UE-SS与待测终端建立单播链路。

若测试单播PC5-S接口，测试待测终端分别作为初始终端和目标终端的双向能力。包括V2X策略配置过程、PC5单播链路建立/修改/释放过程、标识更新过程、鉴权过程、安全控制过程、秘钥更新过程、保持连接过程等^[8-9]。

若测试单播PC5-RRC接口，测试待测终端分别作为初始终端和目标终端的双向能力。包括建立/修改/释放SL DRB过程、侧行链路测量上报过程、侧行链路CSI配置和上报过程、侧行链路交互UE能力过程、侧行链路无线链路失败过程等^[8-9]。

根据场景，测试PC5接口侧行链路通用功能。包括读取网络系统消息、向网络上报侧行链路UE相关信息、同步参考源的选择、传输侧行链路同步信号、侧行链路数据发送和接收、侧行链路MAC（Media Access Control，媒体访问控制）/RLC（Radio Link Control，无线链路控制）/PDCP（Packet Data Convergence Protocol，分组数据汇聚协议）/SDAP（Service Data Adaptation Protocol，服务数据适配协议）底层功能等^[9]。

若选择网络覆盖范围内场景，测试待测终端Uu接口V2X相关过程与网络通信功能。包括V2X相关系统消息获取过程、侧行链路专用配置重配过程、侧行链路信道频率上报过程、移动性相关操作等^[9]。

用户面数据传输功能可通过发送Ping包或者回环（Loopback）数据包等方式测试^[14]。

4 NR V2X 终端侧行链路一致性测试系统

NR V2X终端侧行链路一致性测试系统如图6所示：

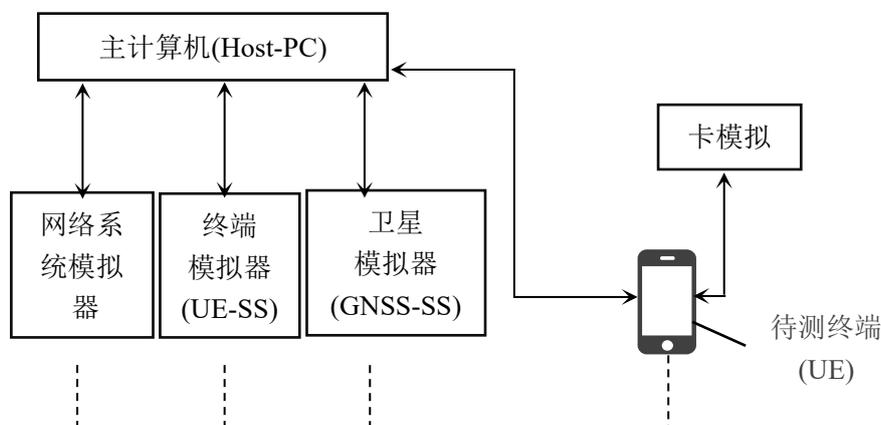


图6 NR V2X 终端侧行链路一致性测试系统

主计算机 (Host-PC)：运行测试代码，控制测试环境配置和测试流程执行；

网络系统模拟器 (NW-SS)：建立一个或多个小区；

卫星模拟器 (GNSS-SS)：传输卫星信号，提供GNSS同步信号、地理位置、位移等信息；

终端模拟器 (UE-SS)：建立一个或多个NR V2X测试对等终端，可以传输SLSS (Sidelink synchronization signal, 侧行链路同步信号)和Master Information Block Sidelink消息；

待测终端 (UE)：不限定待测终端的具体类型；

配置USIM卡中的V2X服务参数和侧行链路预配置参数时，可以向待测终端中插入配置好的USIM实体卡，也可以通过卡模拟器配置并模拟USIM卡。

5 结语

对比已有的LTE V2X终端协议一致性测试是基于广播通信方式下针对PC5接口用户数据传输资源选择、信号同步、Uu接口RRC功能设计，目前缺乏完整的对NR V2X终端侧行链路的一致性测试方法和系统。NR V2X终端侧行链路一致性测试方法和测试系统，可以遍历各种网络场景、不同通信模式以及不同配置。对5G终端NR V2X功能相关的各通信模块进行一致性测试，将有效提高NR V2X待测终端与对等终端及网络基础通信的正确率。

在国家政策指导下，各地政府出台了多项车联网产业发展政策并部署了一系列基础设施建设，相关车企也在积极推广NR V2X系统建设与应用。在不久的将来，NR V2X相关测试方法将广泛应用于道路安全、智慧交通、车辆编队行驶、半/全自动驾驶、远程驾驶、传感器扩展、移动性覆盖增强等场景，保障车联网终端达到极低的通信时延、极高的可靠性、更大的传输速率、更远的通信范围以及更高的移动速度等应用需求。

参考文献

[1] 第三代合作伙伴计划 3GPP. Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support Vehicle-to-Everything (V2X) services: TS 23.287 V18.3.0 [S]. FRANCE,3GPP,2024,3:8-10+42-43.

[2] 廖臻,赵慧麟,宋爱慧,孙向前. 5G 终端一致性测试国际标准进展[J]. 信息通信技术与政策, 2019(5):43-46.

[3] 陈山枝, 葛雨明, 时岩. 蜂窝车联网(C-V2X)技术发展、应用及

展望[J]. 电信科学,2022(1):1-12.

[4] 中信科移动通信技术股份有限公司.大唐联仪携多款 C-V2X 通信测试方案亮相中国 (大湾区) 车联网大会 [EB/OL].(2023-09-18)[2024-03-20].<https://www.cictmobile.com/news/details/1360.html>.

[5] Keysight C-V2X 射频一致性测试用例率先通过 3GPP 验证[J]. 电子测量与仪器学报,2019 ,33 (11):64.

[6] 李俨,封翔. 基于直连通信与移动网络协作的车联网信息服务技术[J]. 移动通信,2022 ,46 (11):47-51.

[7] 第三代合作伙伴计划 3GPP. NR; NR and NG-RAN Overall Description;Stage2:TS 38.300 V18.1.0 [S].FRANCE,3GPP,2024,3:165-167.

[8] 第三代合作伙伴计划 3GPP. Vehicle-to-Everything (V2X) services in 5G System (5GS); Stage 3: TS 24.587 V18.5.0 [S]. FRANCE,3GPP,2024,3:20-71.

[9] 第三代合作伙伴计划 3GPP. NR; Radio Resource Control (RRC) protocol specification: TS 38.331 V18.1.0 [S]. FRANCE,3GPP,2024,3:363-438.

[10] 第三代合作伙伴计划 3GPP. Security aspects of 3GPP support for advanced Vehicle-to-Everything (V2X) services: TS 33.536 V18.0.0 [S]. FRANCE,3GPP,2024,3:8-22.

[11] 第三代合作伙伴计划 3GPP. Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) application: TS 31.102 V18.4.0 [S]. FRANCE,3GPP,2024,3:265-267.

[12] 第三代合作伙伴计划 3GPP. Vehicle-to-Everything (V2X) services in 5G System (5GS); User Equipment (UE) policies; Stage 3: TS 24.588 V18.1.0 [S]. FRANCE,3GPP,2024,3:7-80.

[13] 第三代合作伙伴计划 3GPP. Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS); Stage 3: TS 24.501 V18.6.0 [S]. FRANCE, 3GPP,2024,3:1103-1120.

[14] 第三代合作伙伴计划 3GPP. 5GS; Special conformance testing functions for User Equipment (UE): TS 38.509 V17.5.0 [S]. FRANCE,3GPP,2024,3:11-37.

作者简介

阿拉塔 (1985—)，男，硕士，工程师，主要研究方向:无线电计量。

王晰 (1986—)，女，硕士，高级工程师，主要研究方向:无线通信。

Sidelink test method and system design for NR V2X UE conformance testing

A La Ta¹, WANG Xi²

1. AVIC Changcheng Institute of Metrology and Measurement, Beijing 100095, China

2. Telecommunication Development Industry Alliance, Beijing 100191, China

Abstract: This paper proposes a sidelink test method and system design for NR V2X UE conformance testing, includes NR V2X conformance testing system architecture, testing environment configuration, and testing method design. This design will effectively improve the correctness of communications between NR V2X UE under test and peer UE and between NR V2X UE under test and network, therefore reliably guarantee the interconnection of terminals for Internet of vehicles.

Keywords: NR, V2X, UE conformance testing