

中欧车联网联合试验关键场景及技术

Key Scenarios and Technologies in EU-China V2X Trial Cooperation

陈涛/CHEN Tao¹

Matti KUTILA¹

郑银香/ZHENG Yinxiang²

邓伟/DENG Wei²

王江舟/WANG Jiangzhou³

1. 芬兰国家技术研究中心, 芬兰 埃斯波 02150;
 2. 中国移动通信有限公司研究院, 中国 北京 100056;
 3. 肯特大学, 英国 坎特伯雷 CT2 7NZ)
1. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd., Espoo 02150, Finland;
 2. China Mobile Research Institute, Beijing 100056, China;
 3. University of Kent, Canterbury CT2 7NZ, UK)

基金项目:

欧盟地平线计划 (814956); 国家科技重大专项 (2018ZX030114004)

摘要:

中国和欧洲在车联网 (V2X) 领域开展联合试验以验证关键场景及技术。以蜂窝车联网 (C-V2X) 通信在中国和欧洲的发展为背景, 重点探讨了中欧 V2X 联合试验方案、相关性能评价指标, 以及已有测试结果。探讨了支持车辆速度适配、智能交通路口、自动驾驶这 3 大关键测试场景所需要应用层面的消息实现。认为车路网间有效信息交互是实现这些场景的关键因素。联合试验中将在系统层面进一步验证比较测试场景内信息交互性能指标。

关键词:

V2X; 协作式智慧交通系统; C-V2X; 长期演进 (LTE)-V2X; 协作互联及自动驾驶

Abstract:

China and Europe have initialized the trial cooperation on Vehicle-to-Everything (V2X) key scenarios and technologies. Using the current progress of Cellular-V2X (C-V2X) development in both regions as the background, the selected joint test scenarios, related key performance indicators, and the current test results are described in this paper. The key test scenarios are green light optimal speed advisory, intelligent intersection, and automated driving. The implementation of the messages at the application layer to support the test scenarios is discussed. The effective information exchange among the vehicle, road infrastructure, and mobile network are the key to realize these key scenarios. The joint V2X trials between China and Europe will further evaluate and compare at the system level the information exchange performance in test scenarios.

Keywords:

V2X; cooperative-intelligent transport system; C-V2X; Long Term Evolution (LTE)-V2X; cooperative, connected and automated mobility

车联网（V2X）技术是实现未来智能交通系统（ITS）的关键技术^[1]。ITS 通过将车辆、行人、道路基础设施及互联网紧密连接，在安全性、运输效率、服务创新、车载信息娱乐等方面获得极大提升，并最终实现自动驾驶。预计到 2022 年，将有超过 1.25 亿辆汽车支持车联网技术^[2]。

近年来世界上不同的地区都在进行密集的车联网试验。预计从 2020 开始，车企将在新车上大规模安装车联网模块。据 5G 汽车联盟（5GAA）预测，车联网将首先在中国和欧洲部署，美国和亚洲其他地区紧随其后。目前行业遵循 2 条车联网技术路线。中国已选定由第三代合作伙伴计划（3GPP）主导的基于蜂窝网通信技术的（C-V2X）技术作为发展方向，目前版本为长期演进（LTE）-V2X（LTE-V2X）。而欧洲仍在考虑如何兼容 2 种技术标准。考虑到道路基础设施的生命周期通常为 30 年，车辆的生命周期为 10~15 年，全球车联网应用格局对未来 ITS 发展将有非常深远的影响。

中国和欧洲在车联网方面有深入合作，特别在 C-V2X 研究试验上，有多个研发项目由双方汽车制造商、车联网设备供应商、移动运营商及道路运营方参与，联合评估车联网典型服务性能及服务互操作性问题。随着中国和欧洲 5G 网络的商业化，已可通过 5G 网络实现车辆到网络（V2N）的服务。5G 提供的高可靠低时延非常适合与安全相关的车联网应用需求。5G V2N 服务也是这些合作的重要评估项目。这些合作有助于双方技术融合。

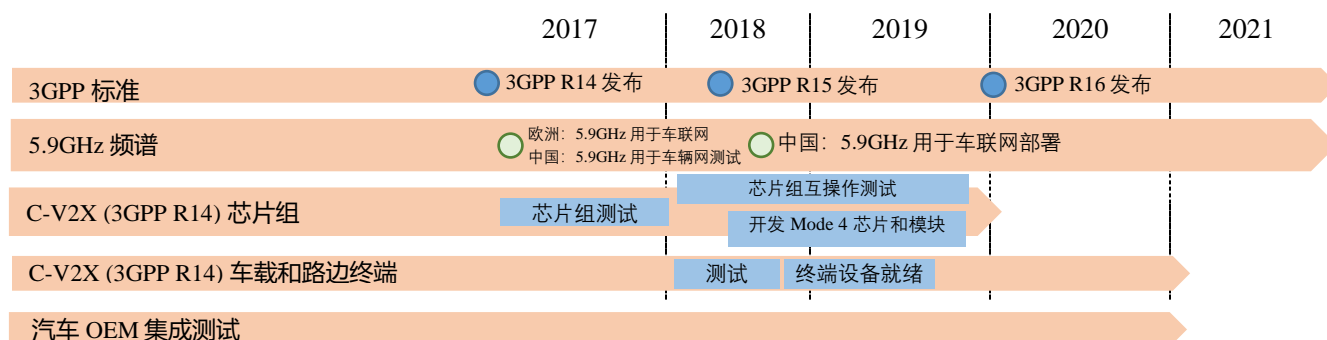
1 中欧 C-V2X 发展现状

欧盟由 28 个成员国组成，各成员国的车联网标准和政策由欧盟统一协调制定。2016 年 11 月，欧盟通过了协作式智能交通系统（C-ITS）发展战略。该战略描述了欧盟未来交通系统的发展方向：在欧盟成员国建立统一的 C-ITS 平台，通过人车路互联，实现有效信息共享与车路协同，极大提高交通安全、交通效率，以及驾驶舒适性。

为此，欧盟制定了一系列 C-ITS 服务^[4]，并将根据优先级分阶段实施。现阶段我们把服务分为 Day-1 和 Day-1.5 2 个优先级。Day-1 服务计划从 2019 年开始部署，该服务分为 2 类：一类用于危险路况通知，另一类为交通信号服务。前者包括道路施工警告、天气状况、紧急停车通告、绿灯最佳速度建议（GLOSA）等；后者包括车内交通信号通告、交通信号灯优先请求等。Day-1.5 的规范和标准仍在制定中，具体包括行人保护（VRU）、街道停车信息、交通信息等。目前测试的服务集中在前一类。关于 C-ITS 进展可参考文献[5]。

为大规模测试车联网服务，欧盟建立了 C-Roads 平台^[6]。该平台由欧洲成员国和道路运营方共同建立，旨在推动测试和实施 C-ITS 服务，解决跨国境的互操作性问题。欧盟计划在 2019 年底将 C-Roads 平台覆盖 43 个欧洲城市，道路总长度 6 000km。目前有 3 个大型欧洲项目正在进行跨境 C-ITS 走廊试验^[7-9]。

中国政府已将车联网提升到国家战略高度，国务院及相关部委对车联网产业升级和业务创新进行了顶层设计、战略布局和规划，并形成系统的组织保障和工作体系。工业和信息化部、交通运输部、科学技术部、发展改革委、公安部等部委出台一系列规划及政策推动中国车联网产业发展。汽车行业、交通行业、通信行业以及跨行业产业联盟各组织之间正纷纷开展跨领域、跨行业、跨部门分工合作，共同推动车联网技术标准体系及测试验证体系的制定和完善。目前 LTE-V2X 试验及应用示范已在无锡、上海、北京、重庆、武汉等地进行。



3GPP: 第三代合作伙伴计划

C-V2X: 蜂窝车联网通信

OEM: 原始设备制造商

开始在新车内大规模安装车联网模块

图 1 中欧 C-V2X 技术路线图

欧洲和中国的 C-V2X 技术路线图如图 1 所示，其他国家和地区也遵循类似的路线图。目前，C-V2X 已由 3GPP 在其第 14 版（R14）中进行了标准化。中国和欧洲都采用 5.9 GHz 频谱支持车到车（V2V）和车到路（V2I）服务。高通、华为和大唐已经发布了 LTE-V2X 芯片模组，并已完成了不同芯片组平台之间的互操作性测试。LTE-V2X 在技术上已经成熟，3GPP R15 又对其进行了进一步完善。3GPP R16 正将 5G 新空口（NR）和高可靠低延时特性引入车联网标准，实现车联网的 5G 化。

C-ITS 的一个重要目标是保证服务在车辆、道路设施和交通信号系统间互操作性以最大程度地提升交通安全，保障服务，这意味着国家之间要解决平台的互联互通问题。在欧洲这是一个至关重要的问题，需要不同国家汽车制造商、车联网设备提供商、车联网服务提供商、道路运营部门和道路监管部门通力合作。中欧 C-V2X 系统虽通信硬件支持互通，但采用了不同格式来传递消息。中方将基本安全消息（BSM）用于状态信息和事件通知，而欧洲将其分为合作感知消息（CAM）和分散环境通知消息（DENM）。双方系统互通需要进一步研究。

2 中欧 V2X 合作

中欧通过车联网联合试验共同评估智能交通关键应用场景、研究互操作性问题，并在标准方面进行合作。目前欧盟有 2 个大型研究项目参与中欧 C-V2X 联合试验。其中 5G-DRIVE 由欧盟地平线计划支持，根据中欧签订的双边合作协议，与中国移动牵头的 5G 大规模试验项目合作，展开 5G 增强移动宽带（eMBB）及 C-V2X 测试和研究工作^[4]。该项目通过联合试验和研究促进中欧之间在 5G 和车联网方面创新和技术合作。其项目成员来自 10 个欧洲国家及 18 个合作伙伴。车联网课题由 ERTICO、宝马、芬兰国家技术研究中心、欧盟联合研究中心（JRC）、Dynniq、法国电信、卢森堡大学和 Vedia 参与。该项目测试车联网中 V2N、V2V 及车到基础设施（V2I）中的关键场景。车与网场景将测试 5G 连接下的车与网服务性能，并重点评估 DENM、车辆信息消息（IVI）、信号相位与时间消息（SPAT）和地图数据消息（MAP）在 5G 网络中的性能。移动边缘计算（MEC）服务器将部署在 5G 网络中，处理大容量车辆感应数据。V2V 和车与路方案将使用 LTE-V2X 模块实现。该项目将定义并测试新的车与车消息集用于车辆间进行协同感知和操纵。

5G-DRIVE 将与中国项目一起测试关键车联网场景并比较其性能。该项目有 2 个车联网试验场：位于芬兰的 Espoo 试验场配备了 3.5 GHz 的 5G 基站、LTE-V2X 设备和移动交通信号灯，可用的道路长度约为 2.6 km（包括十字路口和停车场），测试场景包括 GLOSA 和智能路口；位于意大利 Ispra 试验场由欧盟联合研究中心提供，具有 36 km 内部实驾道路、9 个用于测量电磁兼容性和干扰测试的汽车排放实验室，该试验场将用于评估 GLOSA 并测试 V2X 技术共存性问题。

5G-MOBIX 是另一个与中国进行 C-V2X 联合试验的欧盟项目，也是欧洲 3 大跨国 C-ITS 走廊试验项目之一^[8]。5G-MOBIX 在欧洲、中国和韩国等多地测试智能交通和自动驾驶应用，重点评估协作互联及自动驾驶（CCAM）技术。其试验场景包括合作超车、高速公路车道合并、智能车队、道路用户检测、车辆远程控制、高清地图更新等。在中国，5G-MOBIX 将在济南试验场评估 CCAM 方案。该试验站点有 2 条主要道路，测试用例包括：自动驾驶（自动超车和协作式避碰）、道路安全和交通效率服务、在网络覆盖范围之外车联网支持等。

2 欧洲 C-V2X 研究试验

中欧车联网试验中的测试包括 GLOSA 场景、智能路口场景、自动驾驶场景。GLOSA 场景测试利用交通信号来优化交通流量，智能路口场景测试通过合作感知实现了碰撞避免，自动驾驶场景测试通过协作感知和机动协调提高自动驾驶安全性。

•2.1 GLOSA 场景

GLOSA 将实时交通和信号灯信息通过道路基础设施反馈给车辆，为驾驶员提供最佳速度建议，以减少或避免等待信号灯时间。图 2 显示的是 5G-DRIVE 中 GLOSA 测试场景。当车辆接近信号灯时，速度建议将显示在汽车的仪表盘上，指示驾驶员调整车辆速度。当车辆停在信号灯处，GLOSA 还可以提供绿灯等待时长。GLOSA 可以减少燃油消耗和排放，同时改善市区的交通流量。GLOSA 性能跟车辆获取信号灯信息的方式、路边终端与车辆的连接质量，以及路口交通流量等有关。GLOSA 信息可以直接由路边终端或通过 V2N 的方式发送。这不仅对车辆定位精度提出要求，还要求接受信息的时延在规定范围内（一般在 300~600 ms）。车辆接受信号灯信息的时延及可靠性是评估 GLOSA 性能的重要指标。



图 2GLOSA 测试场景

GLOSA 场景的技术评估指标包括：

- (1) 丢包率（PER），车载单元（OBU）中未成功接收到的数据包与路边单元（RSU）发送的数据包总数的百分比；
- (2) 延迟，从路边单元发送数据包的时间到车载单元收到数据包的时间（以毫秒为单位）。

•2.2 智能路口场景

智能路口场景用于提升交叉路口安全性。车辆通过车联网技术与道路设施和其他车辆交互，获得自身难以感知交通情况，以做出及时判断。图 3 显示的是如何利用车联网技术在交叉路口实现行人保护。图中路口的右转车辆需要避开人行横道上的行人（VRU）。当在人行横道上检测到行人时，RSU 广播 DENM 消息，而后台服务器将此消息广播到附近的所有车辆，警告可能发生的碰撞，避免车辆启动紧急刹车。该场景将测试各种 DENM 警告消息。在路况复杂的路口，有较多车辆参与信息共享。这对消息传达的及时性和准确性提出要求。且又因消息的长度不一，需要评估通信设备支持不同消息的性能。

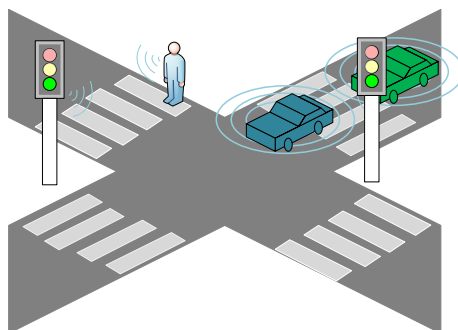
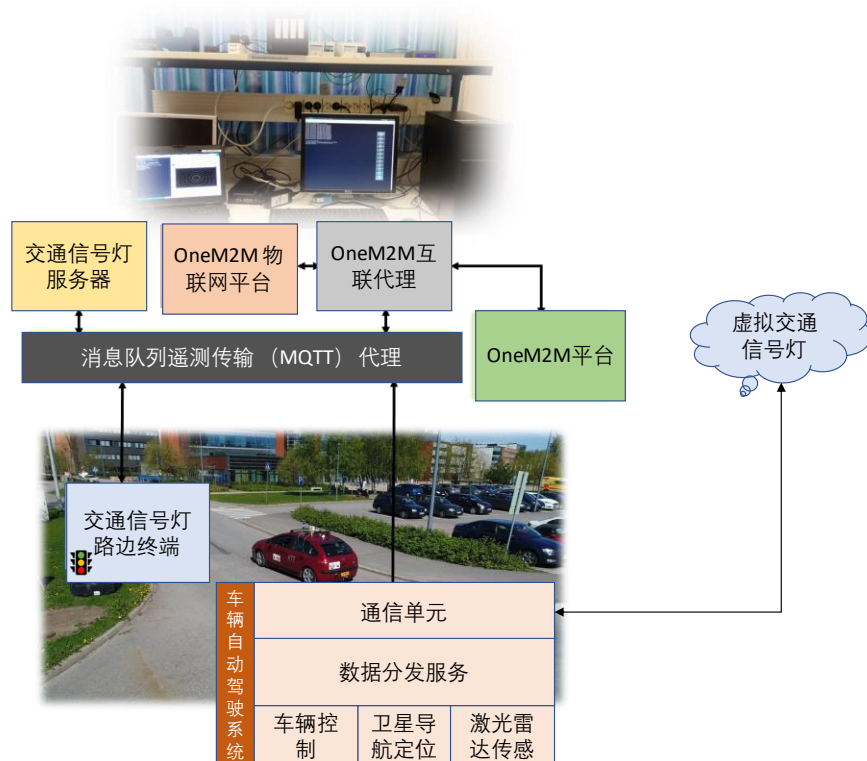


图 3 车联网技术支持智能路口防撞检测

此场景的技术评估指标为：

- (1) 丢包率；
- (2) 延迟；
- (3) 总活跃车联网设备，此指标对在测试对象的通信范围内同时有多少其他活跃车联网设备进行跟踪；
- (4) 以 Mbit/s 为单位的总信道负载，信道的总负载可用于确定预期数据冲突量；
- (5) 通道上的总消息数/秒，同样的数据量使用 1 Mbit/s 负载的客户端比 100 个 10 kbit/s 负载的客户端发生数据冲突可能要小很多。



M2M: 物到物

MQTT: 消息队列遥测传输

图 4 车联网试验中支持自动驾驶的系统构架

2.3 自动驾驶场景

自动驾驶场景测试协作感知消息（CPM）和机动协调消息（MCM），用于改善车辆自动驾驶功能。支持自动驾驶的车联网架构如图 4 所示。CPM 消息用于在车辆和基础设施之间共享感知信息^[10]，该消息可以让自动驾驶车辆和基础设施及其他车辆共享环境信息，以从不同角度进行对象检测。CPM 消息不仅包含检测到的对象，还包含其传感器性能。这使消息接收者能够评估检测质量并获知哪些区域尚未检测。通过协作感知，车辆可以避免单一传感器探测区域有限或者因物体阻挡未能探测等问题；通过大规模消息共享，获得周围环境的完整情况。MCM 消息^[11]用于协商车辆通行优先权。协调车辆通行可导致传送大量小型消息，对通信模块提出了相关性能要求。除了车辆间协商，道路基础设施也可以通过 MCM 消息指示车辆通行，例如提供换道建议，这些都需要在测试中评估通信模块性能。

自动驾驶场景的技术评估指标包括：丢包率、延迟、总活跃车联网设备数、带宽和通道上的总消息数/秒。CPM 的技术难点集中在带宽保证上，而 MCM 集中在活跃设备数和消息/秒上。

表 1 列出了车联网各场景试验涉及的技术评估指标。

表 1 车联网试验技术评估指标

试验	测试环境	技术评估指标
DENM V2I	DENM 设备数：5/10/15/20	丢包率< 1%
	CAM 设备数：50/100/150/200	延迟< 10 ms
GLOSA V2N	CAM 设备数：100/200/300/400/500	丢包率< 10%
		延迟：MAP < 5s, SPAT < 2s
CPM V2X	CAM 和 CPM 设备数：80/100/120/140	丢包率< 10%
		延迟< 100 ms
		速率> 1.6 Mbit/s
MCM V2X	活跃 CAM and MCM 设备数： 100/200/300/400/500	丢包率< 10%
		延迟< 100 ms
		活跃设备数>=300

CAM：合作感知消息

CPM：协作感知消息

DENM：分散环境通知消息

GLOSA：绿灯最佳速度建议

MAP：地图数据消息

MCM：机动协调消息

SPAT：信号相位与时间消息

V2I：车到基础设施

V2N：车到网络

V2X：车辆无线通信

3 中国 C-V2X 规模试验

中国已启动了大规模 LTE-V2X 试验，场地包括开放道路和封闭道路。其中无锡已实现了覆盖 170 平方千米、240 个十字路口和万级终端的城市级开放道路应用示范。这些应用服务包括 GLOSA、限速告警、交通拥堵告警、道路施工告警、紧急车辆优先通行、前方碰撞告警、紧急情况电子刹车灯和紧急车辆优先等。

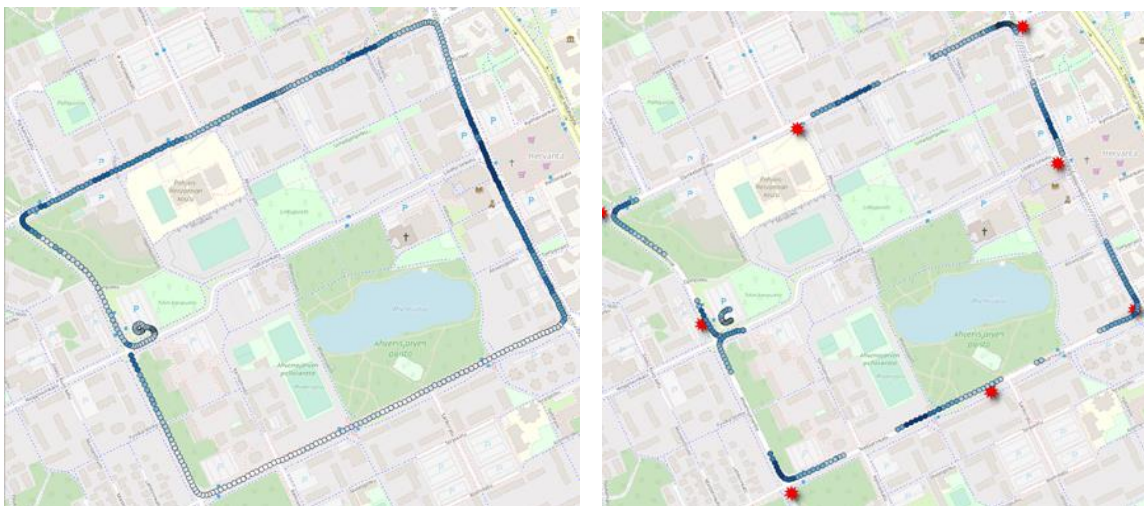
中国移动参与了多地车联网技术试验及应用示范。根据前期试验反馈，中国移动在 5G 产品规模试验项目中使用最新的 LTE-V2X 产品进行 C-V2X 端到端测试。待评估的 C-V2X 系统是基于 LTE-V2X 设计的，并可升级到 5G V2X 技术架构。前者基于 4G 蜂窝网，后者基于 5G 新空口（NR）蜂窝网。由于网络容量不同，LTE-V2X 和 5G V2X 将支持不同的 V2X 应用。

待测试的 LTE-V2X 系统具有 2 个无线通信接口：LTE Uu 接口和直连通信（PC5）接口。LTE 采用 2.6 GHz 频率、20 MHz 带宽、5 ms 的帧传输周期为，每个基站均配备 8Tx 和 2Rx 路径天线。PC5 接口采用 5.905~5.925 GHz 频段，提供 OBU 和 RSU 间通信。测试将评估 LTE 蜂窝通信（Uu）和 PC5 的组网性能以及 V2X 业务端到端性能。

中国移动 5G 规模试验项目定义了一系列测试场景，其中联合测试场景将与欧盟合作项目共同完成。

4 自动驾驶试验结果

目前芬兰国家技术研究中心已在芬兰测试场地做了部分自动驾驶试验，先期采用基于 LTE 网络的车对网连接。自动驾驶车辆利用本身传感器探测路面，同时通过移动网络连接边缘和云端服务器共享部分数据。测试评估了与网络相关的技术指标，主要分析了时延对自动驾驶的影响。



a) 商用 LTE 网络； b) LTE 测试网

图 5 自动驾驶网络覆盖测试

图 5 a) 显示了测试路径中商用 LTE 网络信号覆盖强度，其中底部道路信号微弱，造成的高网络时延及时延抖动难以满足自动驾驶要求。图 5 b) 显示了 LTE 测试网络的覆盖范围。由于天线方向待调，覆盖范围需要优化；但由于测试网络只用于自动驾驶测试，测试中网络时延等技术指标明显优于商用 LTE 网络。

测试网络的平均网络时延为 372 ms、方差为 92 ms，当车辆驾驶速度低于 20 km/h 时，100 ms 左右的网络时延可以满足自动驾驶需求。车辆在市区的驾驶速度一般为 50 km/h，这时需要网络时延小于 50 ms。在 5G 网络中，可通过网络切片满足时延需求，以确保自动驾驶的安全性，这也是 5G 一个重要的研究方向。此外，现有 LTE 网络上行通道速率明显低于下行通道速率。通常，下行速率是上行速率的 4 倍；而在车辆遥控操作场景中，下行速率要求高于上行速率（具体见图 6）。如何动态适配上下行速率也是 5G 网络需要解决的问题。

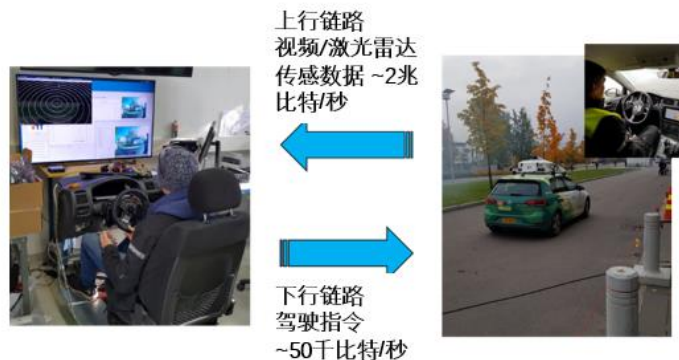


图 65G-DRIVE 中远程遥控驾驶

5 C-V2X 未来方向

基于 3GPP 的 5G V2X 仍在标准化中，5G NR-V2X 芯片及平台尚在研发中。当前，中欧车联网试验将主要集中在 LTE-V2X 技术和 ITS Day-1 及 Day-1.5 服务，对 5G 的评估主要在 V2N 功能方面。

LTE-V2X 在带宽、延迟和可靠性方面具有局限性，无法支持车联网新应用，如自动及遥控驾驶。车辆间大传感数据共享要求通信模块支持高达 1 Gbit/s 的传输速率、低至 3~10 ms 的时延和高可靠通信。为了克服 LTE-V2X 的局限性，3GPP R15 将载波聚合、高调制方案、延迟降低以及多样性传输等引入了 LTE-V2X 中，进一步提升 PC5 性能。

全功能的 5G V2X 将在 3GPP R16 中推出，并将使用基于 5G 的空口技术。通过新的无线接入技术，5G V2X 将会实现更小的时隙结构、高级信道编码和多天线技术等实现高速、低延迟和可靠性通信，以满足自动驾驶新业务的要求。5G V2X 支持的新场景将包括高吞吐量传感器共享、协同驾驶、远程驾驶和动态地图共享等，同时它将与 LTE-V2X 共存互补。支持 NR-V2X 芯片组将在 3GPP 版本 16 发布后一年半左右发布。

6 结束语

中欧车联网合作聚焦于 C-ITS 重要用例，其试验结果对两地车联网技术协同有重要价值，大规模部署 C-V2X 已提上日程。考虑到众多车联网应用对可靠性和延迟的要求，5G C-ITS 将有重大进展。期待中欧在 5G C-V2X 展开更深入的合作。

致谢

感谢 EURESCOM 的 Uwe Herzog, Dynniq 公司的 Robbin Blokpoel 博士、张晓隼博士、欧洲联合研究中心的 Jaime Ferragut 博士、ERTICO 的 Francois Fischer、Vedia 的 Matti Lankinen 和 Lasse Nykänen、卢森堡大学的 Latif Ladid 和 Ridha Soua 博士对本文的支持。

参考文献

[1] Connecting Vehicles - Today and In the 5G Era with C-V2X[R]. GSMA, 2019

[2] Counterpoint. Global Connected Car Tracker 2018[EB/OL].(2019-11-20)[2020-01-10].
<https://www.counterpointresearch.com/125-million-connected-cars-shipments-2022-5g-cars-2020>

[3] ALEXANDROS K, IOANNIS D, ATHANASSIOS D, et al. “5G Trial Cooperation Between EU and China[C]//2019 IEEE International Conference on Communications Workshop on 5G-Trials. IEEE: China, 2019

[4] European Commission. C-ITS Platform[R].2016

[5] ASSELIN-MILLER N, BIEDKA M, GIBSON G, et al. Study on the Deployment of C-ITS in Europe: Final Report [EB/OL].(2019-12-29)[2020-01-10]. <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2016-c-its-deployment-study-final-report.pdf>

[6] C-Roads Platform[EB/OL].(2019-12-29)[2020-01-10]. <https://www.c-roads.eu>

[7] 5G-MOBIDX Projec[EB/OL]. [2020-01-10]. <https://www.5g-mobix.com>

[8] 5GCroCo Project[EB/OL]. [2020-01-10]. <http://5gcroco.eu>

[9] SHINDLER J, BLOKPOEL R, RONDINONE M, et al. MAVEN D5.1, V2X Communications for Infrastructure-assisted Automated Driving[EB/OL].(2019-12-29)[2020-01-10]. <http://adas.cvc.uab.es/maven/enigma-portfolio/deliverable-5-1-v2x-communications-for-infrastructure-assisted-automated-driving>

[10] RONDINONE M, CORREA A, BLOKPOEL R, et al. TransAID D5.1, Definition of V2X Message Sets [EB/OL].(2019-12-29)[2020-01-1]. <https://www.transaid.eu/deliverables>