

# 智能网联汽车 C-V2X 研究综述



李子文\*

西南林业大学机械与交通学院, 云南昆明 650000

**摘要:** 随着社会的快速发展, 各行各业更追求效率与安全, 汽车的发展也是如此。人驾驶汽车时存在很多主观因素, 会不可避免有许多视野盲区和路况信息, 容易造成安全事故和交通拥堵的情况。在自动驾驶逐步推广的今天, 蜂窝车联网 (C-V2X, Cellular Vehicle-to everything) 技术可以很好的实现汽车与汽车、汽车与交通设施的互联互通, 不仅能为驾驶员提前警示危险, 也助于推动自动驾驶汽车的发展。本文先讲述 C-V2X 的概念和网联车的相关设备。结合国内外的网联车主流的发展技术进行对比, 即 DSRC 车用通信技术与 C-V2X 车用通信技术对比, 突出 C-V2X 车用通信技术在现今发展的优势。通过对欧洲、美国、韩国、日本、中国的 C-V2X 发展现状, 表明中国虽然在网联车方面起步虽晚, 但在无锡市建立了全球首个真实开放交通环境下的城市级示范地。本文也选取了比较典型的直道和交叉路口对通信设备不同情境下的通信能力进行测试, 得出相关结论为未来的网联汽车发展起到推动作用。

**关键词:** C-V2X; OBU; RSU; 网联汽车; 自动驾驶

**DOI:** [10.57237/j.cst.2023.01.005](https://doi.org/10.57237/j.cst.2023.01.005)

## Review of C-V2X Research on Intelligent Connected Vehicles

Li Ziwen\*

School of Mechanical Engineering and Transportation, Southwest Forestry University, Kunming 650000, China

**Abstract:** With the rapid development of society, all walks of life are more pursuing efficiency and safety, so is the development of automobiles. When driving a car, there are many subjective factors, there will be a lot of visual blind areas and road information, which is easy to cause safety accidents and traffic congestion. Nowadays, with the gradual promotion of autonomous driving, C-V2X (Cellular Vehicle-to everything) technology can well realize the interconnection between cars and cars and between cars and transportation facilities, which can not only warn drivers of dangers in advance, but also help promote the development of autonomous vehicles. This paper first describes the concept of c-v2x and the related equipment of the network. Combining the development technology of the network owner of the network, the DSRC vehicle USES communication technology to compare the communication technology of the c-v2x car, and the advantages of the communication technology of the c-v2x vehicle are present. By comparing the development of c-v2x in Europe, the United States, South Korea, Japan and China, it is a sign that China has been a late, but late, in the city of wuxi, the first urban demonstration site in the world's first real open transport environment. This paper also selects the corresponding communication ability of communication equipment in different situations, and concludes that the relevant conclusions will promote the development of the network.

\*通信作者: 李子文, 2507807503@qq.com

**Keywords:** C-V2X; OBU; RSU; Internet Connected Vehicle; Automatic Driving

## 1 引言

蜂窝网络从 2G 到 3G 的发展，使得传统车联网提供了丰富的信息传递通道，演变为 4G 时，传输效率更高、速率更快、时延更短、信息更多。而 C-V2X 是基于 5G 蜂窝网络提出的新术语，C 是 Cellular 的缩写，表示蜂窝网络；V 是 Vehicle 的缩写，表示汽车；X 是 Everything 的缩写，表示一切能与汽车交换信息的对象，如路边的交通基础设施、其他车辆、行人、网络等。V2X 交换信息的方式就包括有 V2I (Vehicle-to-Infrastructure，车载设备与路侧单元设备交换信息)、V2V (Vehicle-to-Vehicle，车载设备与其他车载设备交换信息)、V2P (Vehicle-to-Pedestrian，车载设备与行人交换信息)、V2N (Vehicle-to-Network，车载设备与互联网络交换信息) [1, 2]。在智能网联汽车上路行驶的途径中，起到关键作用的信息传递是 V2V 和 V2I，汽车与汽车的信息交互，可以避免汽车视野盲区而导致的交通事故。汽车与路边的基础设施信息交互，可以让车主提前了解到路况信息，避免道路堵塞、撞伤行人等事故发生。

作为车载设备的车载单元用 OBU 表示，车载单元主要有四个主要组成部分，无线电通信子系统、定位系统、车载设备处理单元、天线，无线电通信子系统的作用是发射和接收空中信号；定位系统，顾名思义就是提供车辆位置、方向、速度的作用；车载设备处理单元的作用是运行程序以生成需要发送出去的空中信号，以及处理从外接收到的空中信号；天线的作用是实现射频信号的接收和发送。

作为路侧基础设施的路侧单元用 RSU 表示，路侧单元主要负责接收服务器下放的交通信息、路况信息。并且将接收到的信息动态的播报给行驶过的车辆，以达到规避交通事故提升交通通行效率。并且路侧单元还可以将从与车载单元 OBU 通信所获取的信息上报至应用服务器平台[3]。

路侧单元 RSU 具有以下三个基本功能，一是其具有的业务功能，就是汇集路侧交通设施和道路交通参与者的信息，上传至 V2X 服务器平台，并将 V2X 消息广播给道路交通参与者；二是其具有管理功能，完成设备的身份认证，进行设备的配置、故障、工作

状态的管理，对账号、权限、升级的运行维护管理；三是其具有安全功能，即 RSU 设备及 RSU 与其他交互对象之间信息交互的安全保护，硬件安全防止硬件内容被篡改，系统安全防止设备参数和数据内容被攻击，数据安全对接收和发送的消息加密处理，断电保护使正常的设备运行忽然遭受异常断电时进行数据的自动备份，通信安全要求 RSU 设备符合行业的通信要求标准。

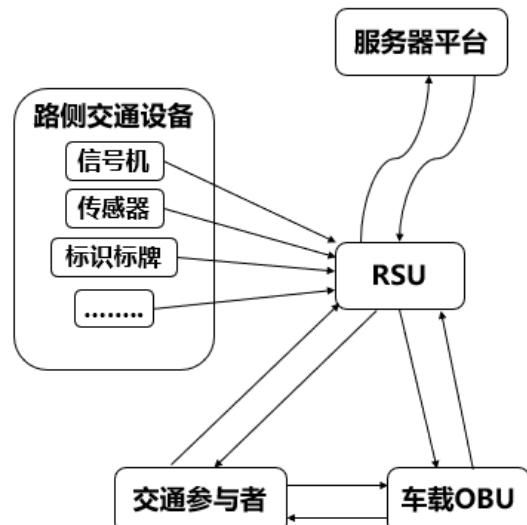


图 1 设备功能信息网

## 2 V2X 发展现状

### 2.1 主流车联网通信技术

#### 2.1.1 车联网 DSRC 技术

IEEE802.11p 技术是在 WIFI 的基础上进行改进，而 DSRC (Dedicated Short Range Communication) 专用短程通讯技术是在 IEEE802.11p 通讯协议的基础上，进行短距离的无线数据传输服务[4, 5]。美国在 2004 年开始制定标准，在 2010 才将完整的标准发布。在短距离的数据传输过程中，3~27Mb/s 的带宽表现，其传输速度显著。DSRC 技术具备一定的优点，在通信过程中安全可靠；获取网络速度快，高频的更新，超低的延时，能够及时的进行设备之间的信息交换；运

行过程中可靠性高，也不会受到一些暴风，暴雨等恶劣天气影响。种种优点非常有益于 V2V 和 V2I 的通信。

虽然 DSRC 技术具有许多的优点，但是此项技术也存在其缺点和局限性。因为 DSRC 技术采用载波侦听多路访问协议，在一些车辆密集的交通环境下，分析数据包时经常会出现译码失败的情况，这就给这项技术的发展带来很大影响。DSRC 技术只适用于短距离数据传输，长距离数据传输受限。在障碍物较多的环境下，DSRC 技术传输数据受限严重。这些种种原因也极大的限制了 DSRC 技术在车联网通信在实际车辆的商业化使用，此项技术也主要承担一些基本交通业务，达不到未来对于自动驾驶通信的要求[6]。

## 2.1.2 车联网 C-V2X 技术

C-V2X 技术是一种在蜂窝网通信技术的基础上进行改进和演化而成的一种车用无线通信技术。拥有直连通信和蜂窝通信两种，可以完成 V2V、V2I、V2P 通信功能，C-V2X 是在 3GPP 全球标准下执行，包含 LTE-V2X 和 5G-V2X[7, 8, 9]。其中，LTE-V2X，侧重于面向基本交通安全业务，且从 2015 年开始制定标准，在 2017 年发布 R14 版本；5G-V2X，基于 5GNR 技术，侧重于面向未来的汽车发展大势所驱的自动驾驶业务，在 2020 年发布其标准[10]。

对于高密度车辆车况和高密度车辆环境，C-V2X 技术相对与 DSRC 技术具有很大的提升，美国密歇根 Fowlerville 试验场曾经做过相应的实验，C-V2X 技术采用的是非视距离传输，所以对于障碍物较多的环境，其数据传输也不会受太大影响。在传输距离上，C-

V2X 技术传输距离更是 DSRC 技术的 2 倍、3 倍[11]。且此技术利用到移动网络供应商的基础设施，现如今这些基础设施在许多公路旁都修建有，所以这也为 C-V2X 提供了一个稳定安全的通信平台。相比较于 DSRC 技术，C-V2X 技术更适宜在中国发展，因为 DSRC 的芯片主要是被美国、日本等国家控制着核心技术，芯片问题解决不了，发展 DSRC 技术就会受制于人[12]。中国一些网络运营商、设备制造商、车企、汽车零部件提供商参与 C-V2X 的发展中，更加的有益于推进网联车普及商业化。所以说相比较于 DSRC 技术，C-V2X 有着更加广阔的发展前景。

表 1 C-V2X 技术与 DSRC 技术性能对比

性能	C-V2X	DSRC
带宽容量	高	中
通信距离	高	中
密集车量下可靠性	高	低
非视距感知能力	高	低
安全性能	中	高
技术标准成熟度	中	高
高速车辆通信能力	高	中
同步性	高	中
普及商业化	高	低

## 2.2 国外 C-V2X 发展现状

欧洲和亚洲在推广 C-V2X 发展的过程中扮演着积极的角色，如全球联合成立的“5G 汽车”联盟、德国的“汽车连接未来一切”联盟、香港的“智能交通联盟”、法国的“驶向 5G”战略合作、韩国的 5G 应用测试，世界许多强国都在致力于发展 C-V2X。



图 2 搭载 C-V2X 功能的商用车

美国对于对于他们的的企业持中立态度，他把选择权交到企业手中，企业可以自主选择自己制作的车联网用 DSRC 技术或者 C-V2X 技术。美国的车企福特公司曾于 2019 年 3 月 26 日表示，将计划 2022 年在推出自己搭配 C-V2X 车型，它的确做到了这一点。福特企业将自主研发的福特 Co – Pilot360<sup>TM</sup> 智能驾驶辅助系统就搭配 C-V2X 技术进行相互协作[13]。使得车辆可以接收道路前方的交通信息，以及传感器所检测不到所存在的潜在危险，从而提前向驾驶者提出消息预警，甚至可以在驾驶者没有做出任何操作的情况下，自主进行对汽车的控制，自动驾驶进行转向和刹车等操作。

欧盟委员会为了推进当地的车联网发展，2019 合作建立了智能交通系统平台（C-ITS platform），并且共同制定标准，并且进行跨站点的互操作测试验证，欧洲的车联网产业起步早些，2002 年就已经将 5.795-

5.805GHz 分配给初始的车对路系统，在不同城市开展实际的道路测试[14]。

韩国的车联网技术发展较晚，但规划了长期的车联网发展计划，长期计划的直接目的就是在未来实现全国范围内的智能交通系统，在 2040 年之前实现车、人、路信息连接的高度自动化，交通资源的利用率达到最大化，截止 2040 年在高速公路网实现智能道路交通，在市区实现 100% 智能交通，并且实现零交通事故。

日本也极其重视车联网和自动驾驶技术的发展，在 2016 年发布了高速公路自动驾驶和无人驾驶的实施路线报告书，期望在未来能够实现部分地区的无人驾驶功能[15]。日本的一些企业也积极参与其中，2018 年 1 月，当地的一些汽车企业、电信企业、ITS 公司在日本进行了 C-V2X 通信能力测试。推动了 C-V2X 在日本的发展。

## 全球智能网联汽车产业布局



图 3 全球智能网联汽车产业

## 2.3 国内 C-V2X 发展现状

2017 年，中国移动通信集团有限公司、公安部交通管理科学研究所、华为技术有限公司、一汽集团、

大众奥迪汽车公司、无锡市公安局交通警察支队共六家单位在无锡市建立了全球首个真实开放交通环境下的城市级示范地，最初是无锡太湖博览中心周边 3.7km 的开放道路来进行测试。到 2018 年，覆盖的范围扩大至 170 平方千米，包含无锡市主城区 240 个

路口, 用户数量达 2.2 万人。2019 年完成无锡市 280 个路口 V2X 智能化升级, 用户数量达到 10 万人[16, 17]。推动了我国对于 C-V2X 技术的深入研发和实用性测试。

C-V2X 应用涉及到的范围很广, 包含汽车、通信、交通、信息服务等多个领域, 国内也成立了相关的产业联盟组织, 譬如中国智能交通产业联盟 (C-ITS)、中国通信标准化协会 (CCSA)、车载信息服务产业应用联盟 (TIAA) 等其他组织[18]。相关组织的成立, 能推动各个领域健康良性的发展。目前国内的车联网产业化速度是越来越快, 且有所表现。相关配套企业在围绕通信芯片、通信模组、终端设备、整车制造、运营服务、测试认证、高精度定位、地图服务等主导方面形成完整的产业链[19]。

中国的 C-V2X 产业链大致将经历三个阶段的发展。首先第一个阶段更多的是起到协助作用, 在公路上通过 C-V2X 技术协助驾驶者了解交通信息和路况, 提高整体的交通效率。第二个阶段, 测试在特定的适宜的环境下进行中低速的自动驾驶测试, 如机场、工厂的无人物流车、无人自动清洁车。第三个阶段, 就是在真实的交通环境, 无论是高速公路还是普通道路进行全天候、全场景的无人驾驶, 达到这一步可能还需要漫长的探索、长时间的跨界磨合和测试。

## 3 实验测试及结论

### 3.1 测试指标

信道繁忙率 (CBR): 通俗的解释就是信道好比是一条公路, 我们可以在这条“公路”上传输信息。在传输范围内, OBU 设备越多, 其所需传输的信息在此

信道上越繁忙。

时延 (Delay): 发送端开始发送数据到接收端收到数据所需要的全部时间则是测试过程中所需要统计的传播时延。通常我们会计算其平均的传播时延。A 发送数据包 n, 发送时刻  $T_1$ , B 接收完数据包时刻  $T_2$ ; B 发送数据包 m, 发送时刻为  $T_3$ , A 接受时刻为  $T_4$ 。其平均传播时延计算公式如下。

$$t = \frac{(T_4 - T_1) - (T_3 - T_2)}{2}$$

丢包率 (PER): 1. 单一丢包率指设备 A 向设备 B 发送数据, B 接收到的数据占 A 发送数据总量的比例; 2. 接收丢包率指设备 A 接收其他设备数据的单一丢包率的平均值; 3. 发送丢包率: 其他设备接收 A 设备的单一丢包率的平均值。造成数据丢包的原因有很多, 总的来说丢包率越低, 也越能反映数据发送的稳定性。

发包间隔 (ITT): 设备 A 接收设备 B 数据时, 设备 B 连续发送数据包的包间时间间隔。

收包间隔 (IPG): 设备 A 接收设备 B 数据时, 连续相邻两个数据包的包间时间间隔[20]。

### 3.2 测试内容

#### 3.2.1 车辆密度对通信能力的影响

为探究不同车辆密度的情况下, 不同测试车上的 OBU 设备之间的通信性能。资源配置是 10MHz+10MHz 双资源池, 开启拥塞控制, 直路道路场景, 测试车摆放位置不变。每车间隔 10m 摆放于直行道路上, 每车均匀配置 6 台 OBU 设备, 且设置三组对照试验。

表 2 不同车密度下, OBU 通信能测试

对照实验	
Case1	198 台 OBU 设备都开启
Case2	开启 102 台 OBU 设备 (不改变测试车的摆放, 且设备均匀开启)
Case3	开启 54 台 OBU 设备 (不改变测试车的摆放, 且设备均匀开启)

测试可知, 对于直行道路拥挤路段, 车辆密度的变化对于 OBU 设备间通信性能的影响非常明显, 车辆密度越低, 信道繁忙率越低, 发包间隔越短, 丢包率越低, 时延也越短。

#### 3.2.2 交叉路口 OBU 通信能力测试

为探究交叉路口拥挤场景下, 不同位置测试车的通信性能。资源配置为 10MHz+10MHz 双资源池, 开启双塞控制, 每台测试车间隔 10m, 每车均匀配置 6 台 OBU 设备。排列方式如下。

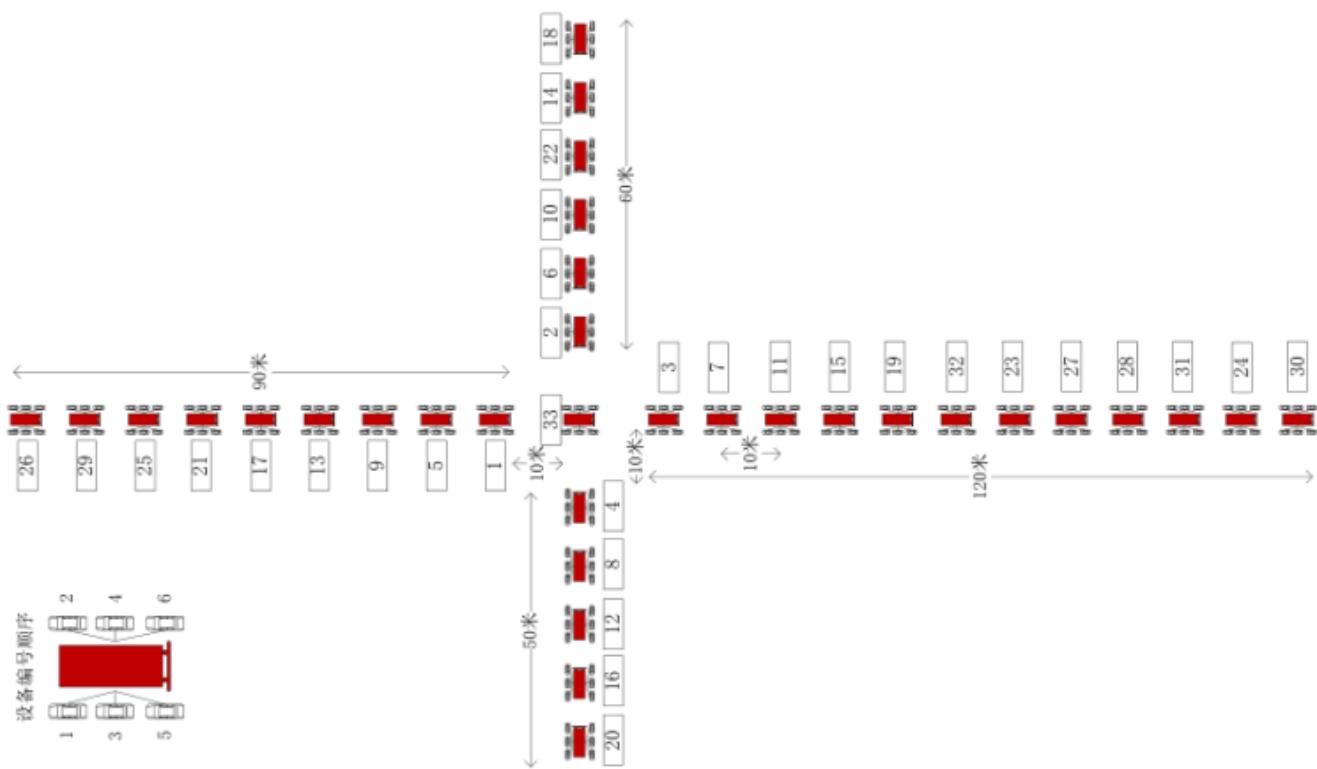


图 4 交叉路测试车摆放方式图

测试结果如下，在十字路口中间的信道繁忙率最高，测试车的传输时延与车辆摆放位置无明显影响。中心测试车发送的消息具有较好的覆盖性。树木等障碍会影响道路四周测试车数据接收性能，受到交叉路口四周道路旁房屋和绿化树木的遮挡，消息的传播衰减较大，相邻两条道路设备之间的接收性能较差。

### 3.2.3 直行道路 OBU 不同位置通信测试

为探究直行道路拥挤场景下，不同位置测试车的通信性能。资源配置是 10MHz+10MHz 双资源池，开启双塞控制，每车间隔 10m，且每车均匀配置 6 台 OBU 设备[20]。

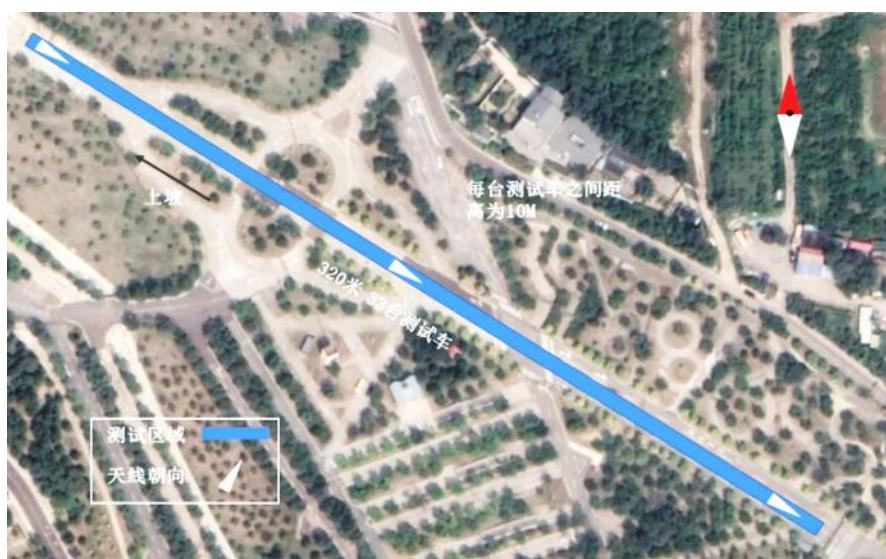


图 4 交叉路测试车摆放方式图

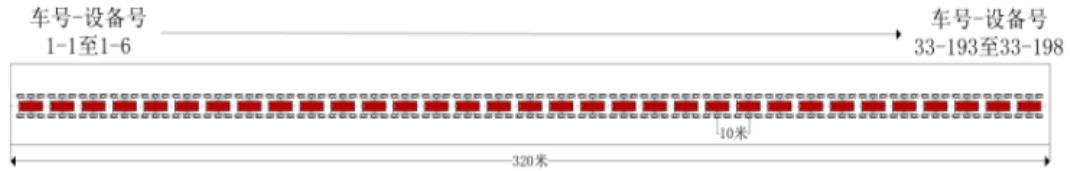


图 5 外场测试图

测试结论如下，直行道路总计 320m 左右，共摆放 33 辆测试车。道路中间为拥挤路段。在拥挤条件下，OBU 设备对通信资源的竞争较为激烈，对数据包的接收造成干扰。通过分析中间位置测试车与其他测试车的通信，数据包传输的丢包率与距离的增加而增加。测试车的位置和设备的拥挤程度无明显变化。

### 3.2.4 交叉路口 OBU 与 RSU 通信测试

为探究交叉路口 RSU 的覆盖情况和部署双 RSU 对单 RSU 覆盖性能的补强情况。资源配置为 RSU 和 OBU 使用 10MHz+10MHz 双资源池时，OBU 开启拥塞控制，交叉路口中间部署 RSU 和道路四周 OBU 的通信测试。每车间隔 10m，交叉口中间分别安装一台 RSU 和两台 RSU 做实验对照。

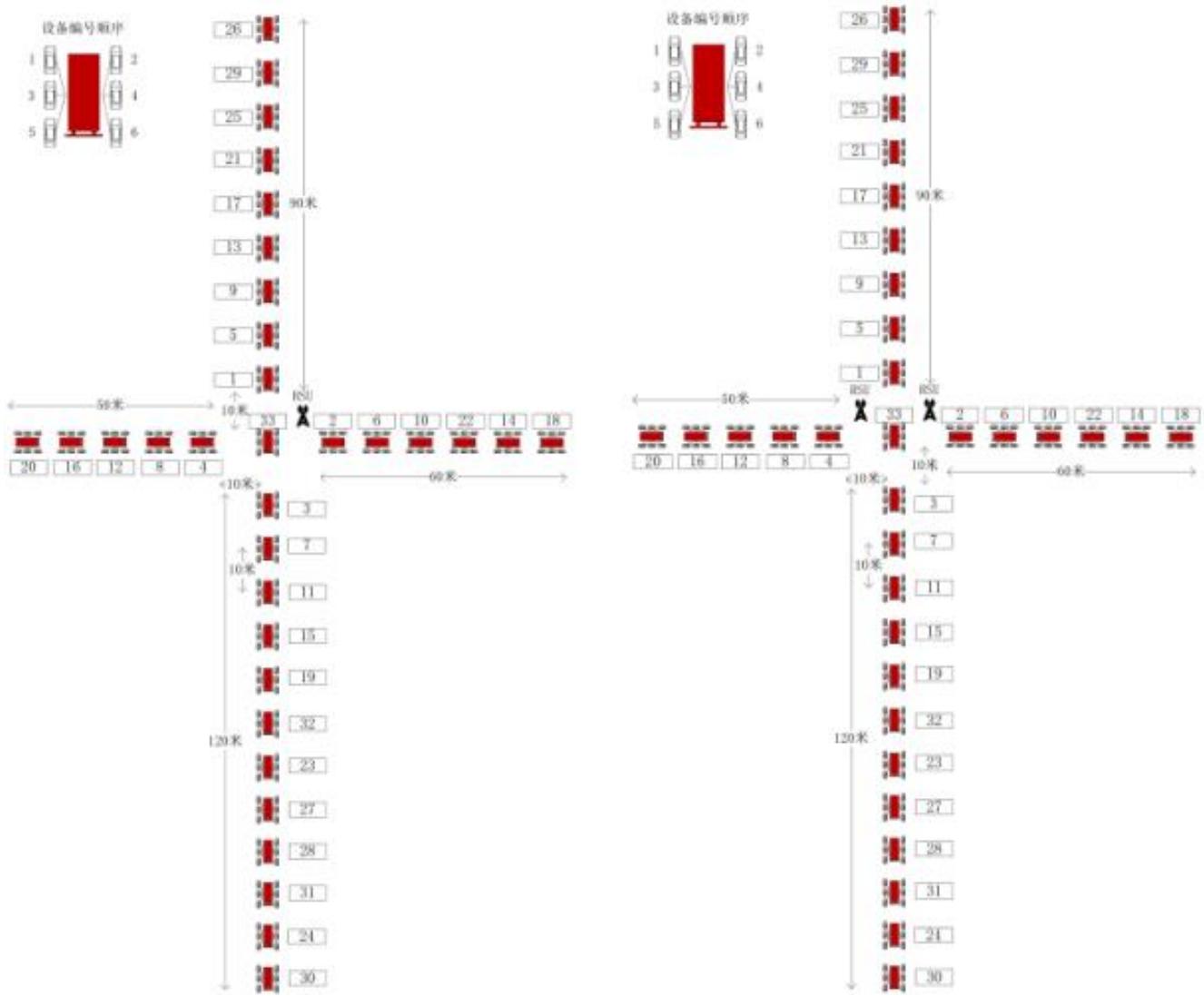


图 6 交叉路口单双 RSU 及测试车摆放图

测试结论如下, OBU 距离 RSU 超过 120m 后, 测试车的接收丢包率稍有增加。在交叉路口部署双 RSU 对 RSU 消息的覆盖性能具有很大提升。

### 3.2.5 直行道路 OBU 与 RSU 通信测试

为探究直行道路 RSU 的覆盖情况和部署双 RSU 对单 RSU 覆盖性能的补强情况。资源配置为 RSU 和 OBU 使用 10MHz+10MHz 双资源池时, OBU 开启拥塞控制, 直行道路中间部署 RSU 和道路两端部署 RSU 时, OBU 接收的通信测试。每车间隔 10m, 中间安装一台 RSU 与道路两侧各安装一台 RSU 做实验对照。

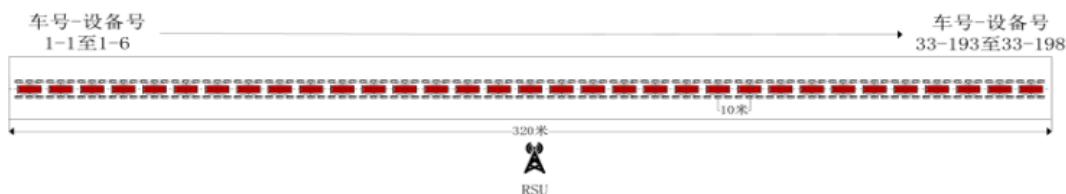


图 7 直行道路中间位置安装 RSU 图

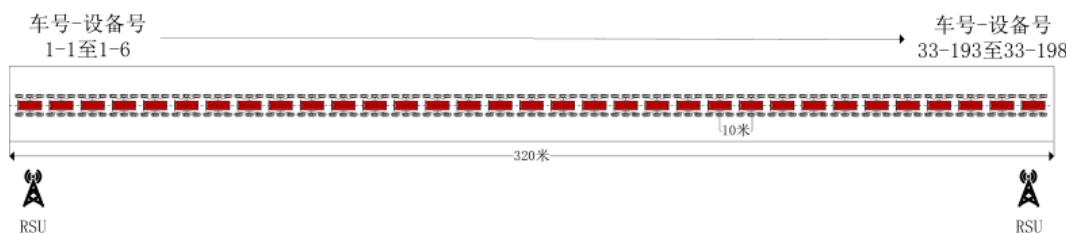


图 7 直行道路两侧位置安装 RSU 图

测试结论如下, 相较于道路中心部署单 RSU, 在道路两端部署双 RSU, 可以对拥挤路段 (约 320m) 的测试车具有极佳的覆盖效果

## 4 结语

本文总结了 C-V2X 在国内外的发展现状, 欧盟、美国等国家对车联网技术的探索更早, 相关技术发展更成熟, 中国虽然起步较晚, 但致力于发展车联网技术的力度不小, 成立全球首个真实开放交通环境下的城市级示范地, 成立相关组织推动技术发展, 我相信中国未来在车联网、自动驾驶技术方面成为后起之秀。

现如今 5G 基站的普及越来越高, 特别是在中国这片土地上。V2X 技术一定会向着 5G 方向发展, C-V2X 技术在未来有着很好的发展前景。虽然现在 C-V2X 技术还在发展阶段, 许多行业准则标准还不太完善。但是未来这些一定也会完善起来。实验场的测试说明 OBU 设备之前的通信、OBU 与 RSU 设备之间的通信在直行道路、交叉道路不同环境下的优劣表现, 对未来网联车技术有着启示、推动作用。也有部分车企研发了搭载 C-V2X 技术的商业车, 说明过去只能在测试场完成的功能, 现在实际的真实环境下也能完成。

在全球的角度下看, 自动驾驶方面的探索和研发, 无论是理论方面的研究, 还是技术程度上的开发和商业化的应用都已经取得了一定的成果, 但是未来还需要攻克的技术难题还很多, 动态地图、C-V2X、网络安全将会是未来自动驾驶汽车研发的主要方向。

## 参考文献

- [1] 陈山枝. 蜂窝车联网(C-V2X)及其赋能智能网联汽车发展的思考与建议 [J]. 电信科学, 2022, 38 (07): 1-17.
- [2] 金博, 胡延明. C-V2X 车联网产业发展综述与展望 [J]. 电信科学, 2020, 36 (03): 93-99.
- [3] 裴丽珊, 王祎男, 董馨. V2X 车路协同系统设计方案综述 [J]. 汽车文摘, 2019 (03): 16-19.
- [4] 陈豪钧. 基于 C-V2X 的车路协同关键技术 [J]. 中国科技信息, 2022 (20): 64-65+68.
- [5] 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, 38 (01): 1-12.
- [6] 刘阳, 王硕, 高洪伟. 全球 V2X 技术进展概述——第 5 届 SIP-adus 大会(SIP-adus Workshop 2018)车联网综述 [J]. 汽车文摘, 2019 (03): 20-23.

- [7] 袁安录, 陈正, 刘玥, 冷卫杰. 智能网联汽车 V2X 技术分析 [J]. 电子技术与软件工程, 2021, (13): 8-9.
- [8] 温小然, 王亚坤, 习一凡, 赵锐, 胡金玲. 蜂窝车联网(C-V2X)演进技术研究 [J]. 移动通信, 2021, 45 (06): 52-57.
- [9] 华为技术有限公司. 车路一体化智能网联体系 C-V2X 白皮书 [R/OL]. 2018, 04.
- [10] Siyu Fu, Wei Zhang, Zhiyuan Jiang. A Network-Level Connected Autonomous Driving Evaluation Platform Implementing C-V2X Technology [J]. 中国通信, 2021, 18 (06): 77-88.
- [11] 刘宗巍, 匡旭, 赵福全. V2X 关键技术应用与发展综述 [J]. 电讯技术, 2019, 59 (01): 117-124.
- [12] 张天, 汤利顺, 王彦聪, 李长龙. C-V2X 标准演进及产业化综述 [J]. 汽车文摘, 2020, (02): 22-28.
- [13] 吴冬升. 美国车联网 (V2X) 发展现状分析 [J]. 智能网联汽车, 2019, (05): 66-72.
- [14] 李俨. 5G 与车联网-基于移动通信的车联网技术与智能网联汽车 [M]. 电子工业出版社. 2019.
- [15] 刘宏骏, 齐巍, 张博. 国外智能网联汽车测试场地发展现状分析 [J]. 汽车工业研究, 2018, (03): 24-31.
- [16] 张宣. 江苏车联网进阶之路 [N]. 新华日报, 2021-09-15(012).
- [17] 曹吉昌, 华贤平. 关于在新建城区开展车联网建设的案例研究——以无锡市为例 [J]. 建设科技, 2021,(15):9-12.
- [18] Shanzhi Chen, Qiang Li, Yong Wang, Hui Xu, Xiaoyong Jia. C-V2X Equipment Identification Management and Authentication Mechanism [J]. 中国通信, 2021, 18 (08): 297-306.
- [19] 胡金玲, 赵锐, 房家奕, 赵丽. 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, (08): 22-31.
- [20] 高通无线通信技术 (中国) 有限公司. C-V2X 大规模终端通信测试报告 [R/OL]. 2021, 08.