

5G NR-V2X 直连通信频率需求研究

5G NR-V2X Sidelink Spectrum Requirement

李伊 /LI Yan, 高路 /GAO Lu

(高通无线通信技术(中国)有限公司, 北京 100013)
(QUALCOMM Wireless Communication Technologies (China) Limited, Beijing 100013, China)



摘要: 针对 5G 新空口 - 车用无线通信 (NR-V2X) 技术中的直连通信应用于自动驾驶场景的频谱需求进行研究, 给出频谱需求研究方法、假设参数和评估结果。在 NR-V2X 系统中, 使用广播模式发送承载状态信息和环境信息的信息, 这部分消息需要至少 30~40 MHz 的频率。NR-V2X 的组播模式可以支持自动驾驶群组间协商和决策。尽管组播模式对于支持高级应用更为关键, 但由于群组通信基本上是事件触发, 通过组播模式传输的总业务量远远少于广播消息的总业务量, 在进行 NR-V2X 频率研究的初期可以暂不考虑组播模式的频率需求。

关键词: 5G NR-V2X; 广播模式; 组播模式; 传感器共享应用; 频率

Abstract: In this paper, the spectrum requirements of 5G new radio (NR)-vehicle to everything (V2X) Sidelink communications for autonomous driving is studied. The methodology, assumptions, and evaluation results are provided. In a NR-V2X system, the broadcast mode is used to send messages that carry status information and environmental information. The frequency requirement for broadcast mode is predicted to be at least 30~40 MHz. NR-V2X supports the use of groupcast mode to send negotiation and decision messages in autonomous driving group communication. However, since group communication is basically event-triggered, even the groupcast mode is critical to support the advanced automotive applications, the total traffic transmitted through groupcast mode is much less than the total traffic of broadcast messages. Therefore, the frequency requirements of the groupcast mode can be neglected in the early stage of NR-V2X frequency study.

Keywords: 5G NR-V2X; broadcast mode; groupcast mode; sensor sharing; frequency

DOI: 10.12142/ZTETJ.202001009

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200222.1132.002.html>

网络出版时间: 2020-02-23

收稿日期: 2019-12-22

自动驾驶是目前汽车产业乃至整个科技行业中最受关注的技术之一, 将会在不久的将来出现在我们的生活中。车车直连通信对于支持安全可靠的自动驾驶业务至关重要, 自动驾驶的感知、决策和执行 3 个层面都将受益于车联网技术而得到增强。基于蜂窝网车用无线通信 (C-V2X) 技术作为车辆中其他车载传感器的补充

而在全球范围内被广泛接受, 并将成为 5G 的先导性应用得到部署。C-V2X 通过提供 360° 非视距 (NLOS) 感知, 大大扩展车辆检测道路参与者的能力。尤其在盲点交叉路口或恶劣天气状况下, 更能体现其相对传统车载传感器的优势。

2017 年 6 月, 第三代合作伙伴计划 (3GPP) 完成并发布了长期演进

(LTE)-V2X R14 标准。R14 LTE-V2X 可以支撑汽车基础安全应用。对于车辆来说, 具备这些通信要求, 就能可靠地与其他附近车辆、基础设施节点 (路边单元) 以及行人交换状态信息, 例如位置、速度和航向, 并且还能够及时向邻近实体传播告警消息。LTE-V2X 的频谱需求在中国通信标准化协会 (CCSA) 以及 5G 汽车协会 (5GAA) 等全球标

准化组织已得到充分研究,得出的共识是需要为 LTE-V2X 分配 20~30 MHz 以支持基础安全应用,包括车到车(V2V)、车到基础设施(V2I)和车到行人(V2P)应用^[1-2]。

3GPP R16 开展了 C-V2X 演讲技术的研究,并且在 5G 新空口(NR)的框架上制订 5G NR-V2X 标准,其灵活的设计可以支持需要低时延和高可靠性的高级车联网应用。NR-V2X PC5(直连通信)框架的灵活性允许轻松扩展 NR 系统,支持未来进一步发展更先进的 V2X 业务和其他业务^[3]。3GPP 计划在 2020 年 3 月完成 5G NR-V2X 核心标准化工作。5G NR-V2X 技术可以进一步实现和增强多维度自动化,例如感知、规划、定位、意图共享(ADAS)和传感器信息共享等。5G NR-V2X PC5 有不同的通信模式,包括广播模式和组播模式。组播通信模式用于支持群组内的特定互动消息,通常有较高可靠性要求,如群组协商、群组决策、反馈消息等。5G NR-V2X 将与 LTE-V2X 共存,并针对不同的用例。LTE-V2X 将提供基础安全服务,而 5G NR-V2X 将用于支撑自动驾驶等高级汽车应用。本文中,我们主要针对自动驾驶 5G NR-V2X 直连通信频谱需求进行研究。

1 频率需求研究方法

利用系统负载和系统吞吐量之间的关系,将预期提供的分组业务量映射到所需的系统容量,称为业务负载映射方法。该方法在 V2X 直连通信系统容量和频谱分析中广为采纳^{[1-2][4-7]}。

针对 5G NR-V2X 中的先进应用,一个新的参数激活因子需要被引入,它将反映发送传感器共享信息等先进应用消息的车辆在所有交通参与车辆中所占的比例。5G NR-V2X 对频谱需求估计 S 可以用公式(1)表示:

$$S = \frac{\sum_n (PS_n \times Ft_{x_n}) \times AF_{AdvApp}}{SE \times CU} = \frac{\sum_n DR_n \times AF_{AdvApp}}{SE \times CU} \quad (1)$$

其中,

● $n = 1, \dots, \text{NbVehiclesInRange}$ 。

NbVehiclesInRange 是有效通信范围内的车辆数量,它取决于车辆的平均速度和有效的通信范围。

● PS_n 是在有效通信范围内第 n 辆车发送的数据包大小,由应用的业务量模型确定,单位是比特。

● Ft_{x_n} 是在有效通信范围内第 n 辆车的消息发送频率,由应用的业务量模型确定,单位为赫兹。

● SE 是无线技术的频谱效率,单位为 $\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ 。它在发射机侧进行测量,并由 NR-V2X 所采用的调制和信道编码方案确定。

● CU 是无线信道的最大资源利用率,反映了由于信号衰减、同道干扰等因素造成的接收端的频谱效率的下降。

● DR_n 是有效通信范围内第 n 辆车的速率,可以通过 $PS_n \times Ft_{x_n}$ 进行计算。

● AF_{AdvApp} 是发送先进应用消息的用户在所有交通参与车辆中所占的比例,称之为激活因子。

3GPP 尚未完成 5G NR-V2X PC5 的无线接入部分的标准化,因此需要对 NR PC5 的频谱效率和信道利用率进行估算。可以基于 1 s 周期内并在 40 MHz 信道带宽内的总信息比特数来估计 NR-V2X 的频谱效率^[8],频谱效率约为 $0.712 \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ 。

信道利用率可以给定一个假设范围,例如,下界可以与 LTE-V2X 频谱需求率采用的下界相同,即 0.336 ^[9]。对于上界,我们可以假设为 80%,这对于可以实现更好的调度协调的单播或多播通信是可能的。随着 3GPP 标

准化发展,可以根据系统设计估计更为准确的数值。

2 通信需求和业务建模

3GPP 于 2016 年完成了针对 5G NR-V2X 的通信需求研究^[10-12],其中一些通信需求考虑得比较理想,主要面向较长期的自动驾驶系统设计。从 2016 年之后,自动驾驶技术发展迅速,针对近期和中期的通信需求又提出了更为实际的通信需求,5GAA 等组织与汽车厂商密切合作,针对通信需求进行了细化和总结^[13-14]。

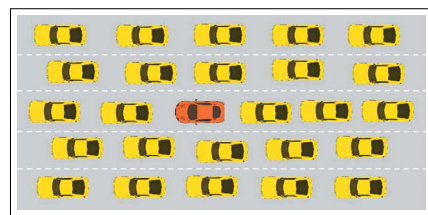
5G NR-V2X PC5 有不同的通信模式,包括广播模式和组播模式。例如,编队行驶可以使用组播模式,而传感器共享更依赖广播模式。

2.1 广播模式

传感器共享也称为合作式环境感知,是最早支持自动驾驶的应用,它使用了 NR-V2X 直连通信的广播模式。

根据丰田汽车公司的研究^[15],传感器共享消息大小被建模为 $350 \text{ B} + x * 50 \text{ B}$,其中 350 B 被假定为基础安全消息的平均有效载荷大小, x 表示车辆从本地传感器观察到的其他对象的数量。50 个字节表示描述单个对象的信息量。如果假设 x 为 25,那么如图 1 所示中央红色汽车将感知周围的 25 辆黄色汽车。自动驾驶消息大小为 1 250 B,发送频率为 10 Hz ^[16]。

对于传感器共享信息,如果每辆车都发送所检测到的周围物体对象的



▲ 图1 自动驾驶中本地传感器观测到的周围物体对象

信息,则从系统角度看,会有很多冗余信息被发送出来。为了减少冗余信息的发送,只须一部分车辆发送传感器共享信息,与周围的车辆共享这些数据。发送传感器共享信息的车辆比率应该是频谱需求研究中需要考虑的重要假设。

欧洲电信标准化协会(ETSI)制订了集体感知服务^[17-18]的技术报告和规范。对于ETSI协作感知消息(CPM)流量模型进行建模,由于周围感知对象数量不同,CPM数据包大小约为550~1 900 B^[16]。

以下是由3GPP技术规范给出的采用信息共享应用的部分自动驾驶的另一示例。用于部分自动驾驶的3GPP流量模型的有效载荷大小是6 500 B,对应于3GPP TS22.186^[12]中V2V高级驾驶用例[R 5.3-002]的消息大小。根据文献[11—12],该消息大小假设60 B,并且有效载荷包括100个对象的信息。感知100个对象需要非常强大的传感器能力,且空口将存在大量信息冗余。此时,传感器共享的有效载荷大小为6 000 B,另外500 B将用于粗略驾驶意图分享。

2.2 组播模式

组播通信是5G NR-V2X最重要的功能之一,该模式用于支持群组内的特定交互消息,通常要求很高可靠性,如群组协商、群组决策、反馈消息等;因此NR-V2X的组播模式引入了混合自动重传请求(H-ARQ)^[19],保证群组通信所要求的高可靠和低时延。5GAA针对包括部分群组通信在内的用例和需求进行了研究^[13-14]。参考5GAA对群组通信用例及其消息流的研究^[13],我们提出了组播的一般消息流,如图2所示。图2反映了组播过程和群组通信中交互的一般流程,其中通用的消息流建模是业务建模和

频谱需求研究的基础。

3 评估结果

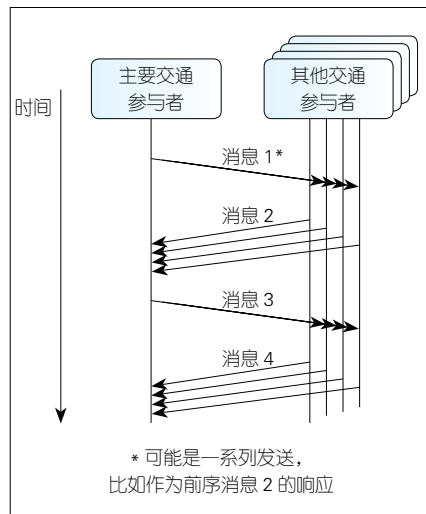
3.1 广播模式

在2.1节中,我们总结了广播模式下协作感知应用3种业务建模方案,分别为丰田研究方案(以下编号为S1)、ETSI研究方案(以下编号为S2)和3GPP研究方案(以下编号为S3)。表1总结了协作感知(传感器共享)的业务模型参数。

我们以70 km/h的车速为例来计算传感器共享的频谱需求,表2给出了用于计算的关键参数的摘要。

针对不同的业务量模型S1, S2和S3,我们计算了频谱需求与激活因子,频谱需求的计算结果如图3所示。

在自动驾驶的开始阶段,能够传输检测到的物体的车辆比例可能会很低,协作感知不会消耗太多频谱,例如可以采用10 MHz频谱提供协作感知



▲图2 常规组播消息流的示意图

▼表1 广播模式传感器共享(协作感知)的业务模型参数

方案	模拟参数	注释
S1	$X \times 50 \text{ B} \Rightarrow 1\,250$ 个字节/消息 信息发送频率: 10 Hz	丰田研究 ^[11]
S2-C1	消息发送频率: 5 Hz 25个周围的对象, 大约550 B	ETSI CPM 假设75%的车辆对象, 25%的非车辆对象; LTE-V2X 渗透率达到70%
S2-C2	信息发送频率: 5 Hz 80个周围的对象, 大约1 900 B	ETSI CPM 假设75%的车辆对象, 25%的非车辆对象; LTE-V2X 渗透率达到70%
S3	协作感知: 60 B $\times$ 100 / 消息 协作运动*: 500 B / 消息 信息发送频率: 10 Hz	3GPP 22.886 第5.10节

3GPP: 第三代合作伙伴计划

CPM: 协作感知消息

ETSI: 欧洲电信标准化协会

LTE-V2X: 长期演进车用无线通信

S1: 丰田研究方案

S2: ETSI 研究方案

S3: 3GPP 研究方案

* 协作运动消息中含有粗略的驾驶意图(轨迹规划)信息。

▼表2 广播模式传感器共享的关键参数

关键参数	值	注释
车道号	12	双向总计
TTC/s	2.5	
车速/(km/h)	70	相对速度 140 km/h
信息共享有效时间/s	10	3GPP TR22.886
有效通信范围/m	388.9	信息共享的要求见 3GPP TR22.886 第5.9节
在有效通信范围内发送定期数据包的车辆数	204	信息共享的要求见 3GPP TR22.886 第5.9节
NR的频谱效率/(b/(s·Hz))	0.712	
NR的信道利用率	0.8	

3GPP: 第三代合作伙伴计划

NR: 新空口

TTC: 距碰撞方式的时间

服务。随着 V2X 车辆提高其检测物体（即其他道路参与者、障碍物）的能力，消息载荷大小将变大并且无法通过 LTE-V2X PC5 接口传输。根据上述研究，需为 NR-V2X 分配 30~40 MHz 的新频谱来承载传感器共享消息。

3.2 组播模式

基于组播用例的频谱需求研究方法是首先估算每辆车在组播用例上产生的总业务量，然后计算容纳指定范围内的所有车辆所需的频谱量。鉴于组播的基本原理也是一种物理层广播，并且消息像广播一样以最大发送功率进行传输，我们可以利用 2.1 节的频谱需求研究方法。但是，针对每种用例类型的频谱需求重复进行分析和计算很耗时，我们因此提出了一种新颖的

方法来研究基于组播用例的频谱需求。鉴于组播和广播的通用性，即每辆车以最大发送功率向所有近端车辆发送消息，并且具有相似或相同的发射频谱效率，我们可以比较组播消息产生的所有业务量与基础安全消息（BSM）消息负载的比率（Ratio_G2B）。组播的频谱需求与在文献 [2] 中获得的 BSM 频谱数量的比例也是 Ratio_G2B。通过这种方式，我们可以快速获得基于组播用例所需的频谱数量^{[5][8]}。

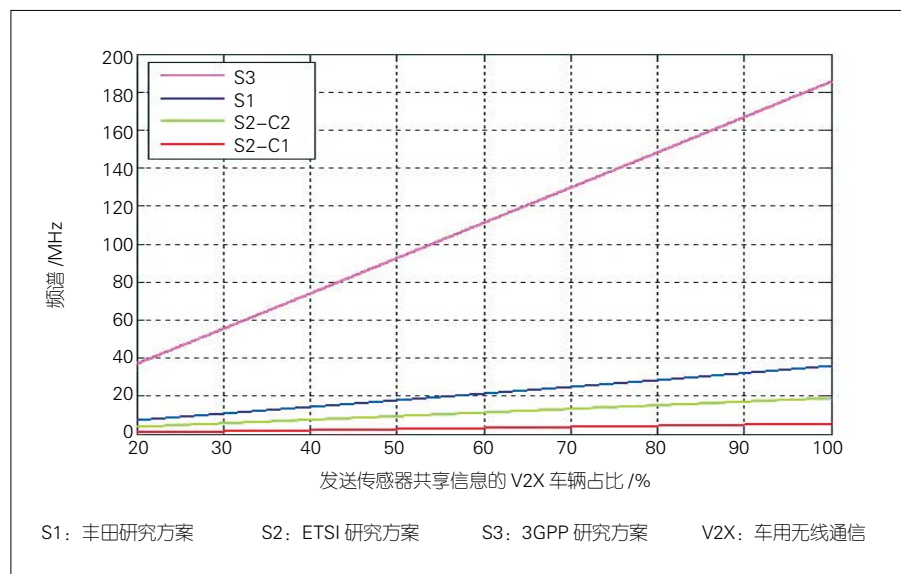
参加群组通信的车辆位于如图 4 所示的虚拟组中。在一个组中，有一个主要的交通参与者来领导组播事件的群组通信。

文献 [8] 研究了一个组播用例“车道变更事件”的总组播业务量，每个组群的平均业务速率是一次事件内所

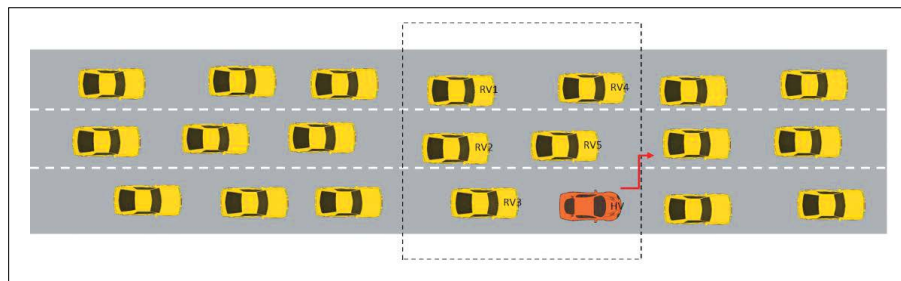
有发送消息的字节数的总和与平均车道变更间隔时间 T_{event} 之比，具体见图 5 所示。我们假设 T_{event} 为 60 s，则该业务量与 BSM 业务量之比约为 1.5%。随着协作驾驶策略的广泛采用，我们期望可以进一步减少变道以提高道路效率。如果 T_{event} 延长为 300 s，则总组播业务量与 BSM 业务量之比为 0.3%。同样，我们可以评估车道变更事件的总组播业务量与传感器共享总业务量的比率，如图 6 所示。假设根据丰田汽车研究的流量模型，传感器共享消息的大小为 1 250 B，发送频率为 10 Hz。我们同样可以发现实际道路环境中与共享传感器业务量相比，车道变更组播业务量是微不足道的。综上所述，与真实道路环境中的广播业务量相比，车道变更的组播业务量可以忽略不计。

4 结束语

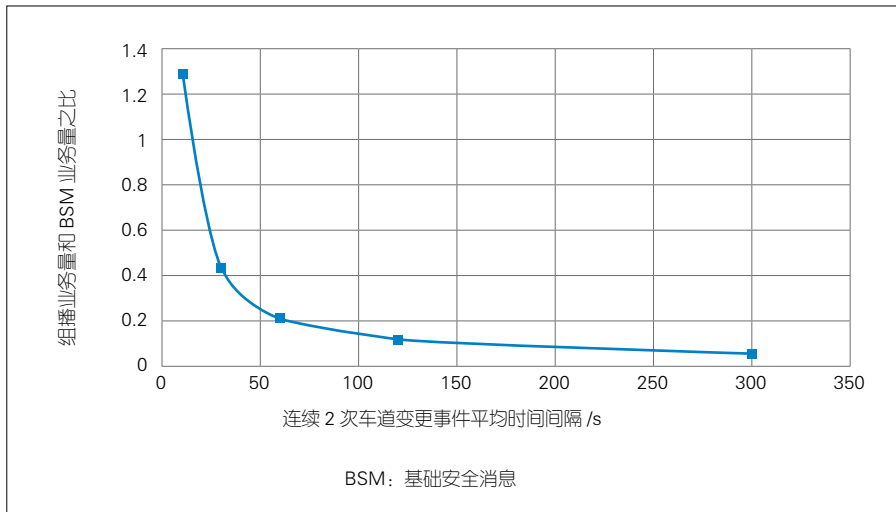
在 NR-V2X 系统中，可以用广播模式发送承载状态信息和环境信息的消息（如传感器共享消息）。这些消息将消耗主要的频谱资源，研究表明需要至少约 30~40 MHz 的频谱。NR-V2X 采用组播模式发送群组通信中的协商和决策消息。根据对某些基于组播的用例研究，我们注意到这些组播应用始终是事件触发的，并且事件发生概率通常较低；因此，尽管组播模式对于支持高级应用更为关键，但通过组播模式传输的总业务量远远少于广播消息的总业务量。如果与广播消息相比，组播的业务量微不足道，组播所需的频谱相对于 BSM 和协作感知等广播类消息所需的频谱而言可以忽略。在进行 NR-V2X 频率研究的初期可以暂不考虑组播模式的频率需求。根据目前研究，我们可以得出以下结论：至少需要 40 MHz 频谱来支持不同传感器融合、路径规划算法以及群组



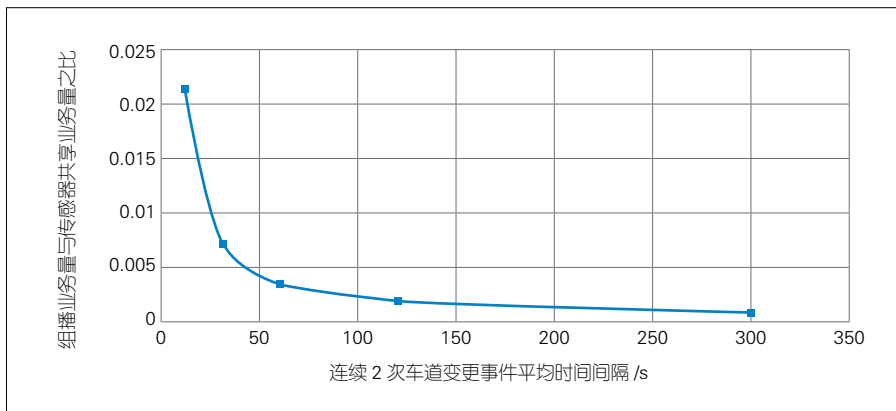
▲图 3 广播模式传感器共享的频谱需求



▲图 4 组播通信的通信范围图



▲ 图 5 车道变更的业务量与 BSM 业务量之比



▲ 图 6 车道变更的业务量与传感器共享业务量之比

通信,用以支持即将到来的自动驾驶。

5.9 GHz 作为国际电信联盟无线电通信部门 (ITU-R) 全球范围以及区域性融合的智能交通系统 (ITS) 频谱^[20],可以为 C-V2X 和相关 ITS 业务发展带来规模经济效益。在 5.9 GHz 中除了分配用于 LTE-V2X 提供基础安全业务的 20 MHz 频率,应额外至少预留 40 MHz 用于 5G NR-V2X 直连通信 (广播模式、组播模式以及单播模式),以支持近期部署的自动驾驶技术。

致谢

本研究得到 FuTURE&TIAA 车联网联合工作组成员单位的支持,对他们谨致谢意!

参考文献

- [1] 智能交通车 / 车路主动安全应用的频率需求和相关干扰共存研究: CCSA SR 239-2018 [S]. CCSA, 2018
- [2] Study of Spectrum Needs for Safety Related Intelligent Transportation Systems-Day 1 and advanced Use Cases: 5GAA S-190179 [S]. 5GAA, 2019
- [3] New SID: Study on NR-V2X: 3GPP RP-181429[S]. 3GPP, 2018
- [4] GAO L, LI Y, MISENER J, et al. C-V2X Based Basic Safety/Related ITS Spectrum Requirement Analysis[C]//2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall). USA: IEEE, 2017
- [5] 自动驾驶 5G NR-V2X 直连通信频谱需求 V2.0[R]. 未来移动通信论坛, 2019
- [6] 李俨. 5G 与车联网 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2019
- [7] 5GAA. Study of Spectrum Needs for Safety Related Intelligent Transportation Systems: 5GAA_S-180026[S]. 5GAA, 2018
- [8] 5G NR-V2X PC5 Spectrum Needs Study: Methodology for Groupcast: 5GAA S-190215 [S]. 5GAA, 2019
- [9] Study of Spectrum Needs for Safety Related Intelligent Transportation Systems: 5GAA_S-180026[S]. 5GAA, 2018

- [10] Service Requirements for V2X Services: 3GPP TS 22.185v14.0.0[S]. 3GPP, 2015
- [11] Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services: 3GPP TR22.886V15.0.0[S]. 3GPP, 2016
- [12] Enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services; Stage 1: 3GPP TS22.186V15.2.0[S]. 3GPP, 2017
- [13] 5G Use Cases and Requirements-Wave 2.1:5GAA TR T-190028[S]. 5GAA, 2019
- [14] 5G Use Cases and Requirements-Wave 2.2::5GAA TR T-19099[S]. 5GAA, 2019
- [15] BANSAL G. The Role and Design of V2X Communications for Automated Driving[R]. Toyota, 2016
- [16] 5G NR-V2X PC5 Spectrum Needs Study: 5GAA S-190017 [S]. 5GAA, 2019
- [17] Intelligent Transport Service; Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Informative Report for the Collective Perception Service: ETSI TR 103 562 V0.0.14[S]. ETSI, 2018
- [18] Intelligent Transport Service; Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Specification of the Collective Perception Service: ETSI TS 103 324 V<0.0.12>[S]. ETSI, 2017
- [19] Physical Layer Procedures for Sidelink: 3GPP R1-1907274 [S]. 3GPP, 2019
- [20] Harmonization of Frequency Bands for Intelligent Transport Systems in the Mobile Service [EB/OL]. [2020-12-22]. <https://www.itu.int/md/R15-SG05-C-0120>

作者简介



李俨, 高通无线通信技术 (中国) 有限公司高级技术标准总监; 负责高通公司在中国的全部标准事务, 研究领域包括 CDMA 移动通信系统、调制和编码、同步技术、安全、移动应用和车联网等方面; 发表论文 10 余篇, 拥有 13 项已授权的美国专利, 并另有多项 PCT 专利申请, 著有《5G 与车联网》。



高路, 高通无线通信技术 (中国) 有限公司技术标准总监; 长期负责频谱工程、法规以及认证等相关标准化工作, 研究领域包括频谱需求、共存干扰分析和相关射频指标研究, 涉及公众移动通信、工业互联网、车联网、毫米波、频谱共享和 MIMO 空时编码等方面; 已发表论文 10 余篇, 拥有数项已授权专利。