

# 5G NR-V2X PC5 直连通信候选频段和兼容性研究

---

(V1.0)

**FuTURE &TIAA V2X 联合工作组**

2021 年 8 月

## 摘要

3GPP C-V2X 的标准化工作从 LTE-V2X 标准制定 (Release 14) 开始, 逐步演进到 NR-V2X (Release 16, 2020 年 7 月冻结)。5G NR-V2X 将与 LTE-V2X 长期共存, 并针对于不同的用例提供服务: LTE-V2X 将提供基本安全服务, 5G NR-V2X 将支持自动驾驶等及高级应用。工信部于 2018 年 11 月颁布《车联网 (智能网联汽车) 直连通信使用 5905-5925 MHz 频段的管理规定》, 规划 5905-5925 MHz 频段作为基于 LTE-V2X 技术的车联网 (智能网联汽车) 直连通信的工作频段, 主要用来满足基本安全应用的频谱需求。5G NR-V2X 直连通信还需要额外频率用于先进汽车应用, 目前尚没有明确的频率规划。

5850 MHz~5925MHz 作为 ITU-R 全球范围以及区域性融合的 ITS 频谱, 可以为智能网联汽车和相关 ITS 业务发展带来规模经济效益。为了支撑相关频谱研究, 适应汽车和交通行业采用 C-V2X 推进自动驾驶发展的需求, 本白皮书针对 5G NR-V2X 技术在 5.9GHz 频段应用开展了共存研究。我国在 5.9GHz 已经分配了 LTE-V2X、固定卫星业务和固定业务等, 同时, 在 5850MHz 以下存在无线接入业务以及短距离微功率设备用频等。因此, 在本白皮书里, 结合 NR-V2X 的技术标准特性、频率需求、部署场景、5.9GHz 现有频率分配和使用情况, 开展了 NR-V2X 与现有同频业务以及邻频业务共存兼容性研究。根据蒙特卡洛仿真和确定性分析计算等研究结果, NR-V2X 系统在 5.9GHz 可以与现有同频业务和邻频业务共存, 在兼容性方面具有频率使用的可行性。

建议我国政府充分考虑汽车和交通行业的自动驾驶产业发展需求, 本着“技术发展、频率先行”的原则, 尽早制定 5.9GHz NR-V2X 系统频率规划的相关计划, 引导智能网联汽车和自动驾驶产业发展方向, 为产业铺好发展道路。

# 目录

1	引言.....	5
2	NR-V2X 技术概述 .....	5
3	中国智能网联汽车发展和规划.....	7
4	NR-V2X 候选频段分析 .....	9
5	5.9 GHz 频段共存兼容性研究 .....	10
5.1	NR-V2X 与 LTE-V2X 的共存 .....	11
5.1.1	系统参数.....	11
5.1.2	干扰保护准则.....	15
5.1.3	LTE-V2X 干扰 NR-V2X：高速场景.....	16
5.1.4	LTE-V2X 干扰 NR-V2X：城区场景.....	17
5.1.5	NR-V2X 干扰 LTE-V2X：高速场景.....	17
5.1.6	NR-V2X 干扰 LTE-V2X：城区场景.....	18
5.1.7	共存性能分析.....	19
5.2	NR-V2X 与 RLAN 的共存.....	20
5.2.1	系统参数.....	20
5.2.2	室外 RLAN 干扰 NR-V2X：城区场景.....	24
5.2.3	车内 RLAN 干扰 NR-V2X：城区场景.....	24
5.2.4	车内 RLAN 干扰 NR-V2X：高速场景.....	25
5.2.5	共存性能分析.....	25
5.3	NR-V2X 与 FSS 的共存.....	27
5.3.1	系统参数.....	27
5.3.2	NR-V2X 干扰 FSS 的卫星空间站 .....	29
5.3.3	FSS 的地球站干扰 NR-V2X .....	36
5.3.4	共存性能分析.....	38
5.4	NR-V2X 与 FS 的共存.....	39
5.4.1	系统参数.....	39
5.4.2	NR-V2X 干扰 FS 接收机 .....	40
5.4.3	FS 发射机干扰 NR-V2X .....	42
5.4.4	共存性能分析.....	43
6	结论及建议.....	44

参考文献.....	45
附录： 术语和缩略语.....	46

# 1 引言

工信部于 2018 年 11 月颁布《车联网（智能网联汽车）直连通信使用 5905-5925 MHz 频段的管理规定》，规划 5905-5925 MHz 频段作为基于 LTE-V2X 技术的车联网（智能网联汽车）直连通信的工作频段，主要用来满足基本安全应用的频谱。5G NR-V2X 直连通信还需要额外频率用于先进汽车应用。3GPP 已经在 2020 年 6 月完成 Release 16 版本 5G NR-V2X 的系列标准。

C-V2X 通信作为车辆中其他本地传感器的补充而被广泛接受，通过提供 360 度 NLOS 感知，扩展车辆检测更远道路的能力，尤其在盲点交叉路口或恶劣天气状况下，更能体现其相对本地传感器的优势。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）和传感器信息等。5G NR-V2X 将与 LTE-V2X 共存，并针对不同的应用服务。LTE-V2X 将提供基本的安全服务，而基于 5G NR-V2X 将提供先进应用支持自动驾驶。

5.9 GHz 作为 ITU-R 全球范围以及区域性融合的 ITS 频谱，可以为 C-V2X 和相关 ITS 业务发展带来规模经济效益，在未来移动通信论坛《自动驾驶 5G NR V2X 直联通信频谱需求》白皮书中，相关行业建议为 NR-V2X 频率预留至少 40MHz 频率，是近期和中期非常适合 NR-V2X 系统的候选频段。在 5.9GHz 已经分配了 LTE-V2X、固定卫星业务和固定业务，5850MHz 以下存在无线接入业务以及短距离微功率等。因此，需要结合 NR-V2X 技术标准特性、频率需求、5.9GHz 已有频率分配和使用情况，开展相应的同频与邻频共存和兼容性研究。

长期来看，全球范围针对未来 ITS 行业可能发展超高数据速率应用，然而当前产业对于超高数据速率的应用需求和部署场景等研究还不充分，产业需求尚不明确，尚没有面向超高数据速率应用的 NR-V2X 候选频段方案提出。未来待自动驾驶产业进一步发展，提出更多较为成熟的超高数据速率应用需求和部署场景等，适时开展频率需求研究，进一步寻找更多的候选频段，以满足未来更多超高数据速率应用的频率需求。

在本报告中主要围绕 5.9GHz 候选频率开展共存兼容性研究。

## 2 NR-V2X 技术概述

3GPP C-V2X 的标准化工作从 LTE-V2X 标准制定（Release 14）开始，逐步演进到 NR-V2X（Release 16，2020 年 7 月冻结）。V2X 通过技术演进实现了应用场景的扩展，从最初的信息服务阶段到辅助驾驶应用再到面向自动驾驶的高级应用。Release 14 LTE-V2X 主要以基本安全类应用为主，Release 16 NR-V2X 则可支撑面向自动驾驶的高级应用，典型应用场景包括意图共享、感知共享、车辆编队、协同驾驶、远程驾驶等。NR-V2X 通过增强的技术特性满足上述高级应用在复杂环境中对可靠性、数据率、延时等关键指标的要求。NR-V2X 支持基于 PC5 接口的终端直通的通信方式，以及基于 Uu 接口的网络通信模式。终端直通（PC5）是 V2X 的主要工作模式，可脱离网络设备覆盖正常运行，对于车联网通信是相对实用的工作方式。

NR-V2X 是 LTE-V2X 技术增强和补充，并在将来很长一段时间，与 LTE-V2X 共存并针对不同用例提供服务。Release 16 的设计支持 NR-V2X 的终端在 LTE 网络中正常运行以及 LTE-V2X 终

端在 NR 网络中正常工作。如下图所示，终端设备中配备了 LTE-V2X 模块和 NR-V2X 模块。LTE-V2X 模块用于支持基本安全类业务，NR-V2X 模块则用于面向自动驾驶的高级应用。

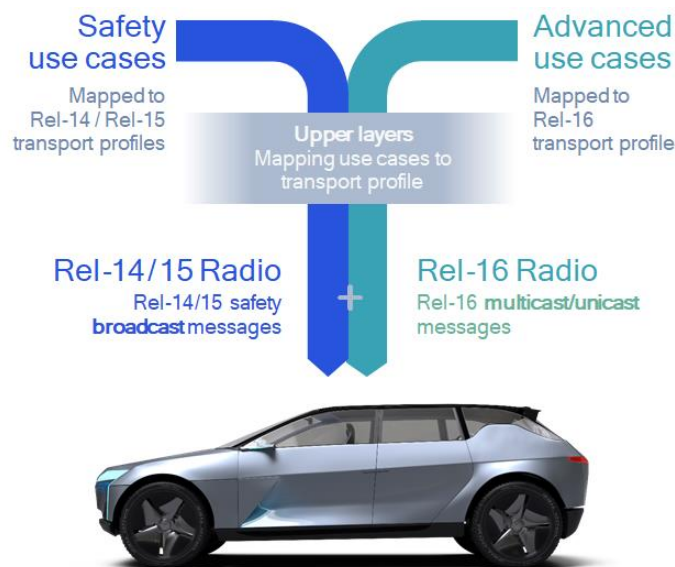


图 2-1 NR V2X 与 LTE V2X 设备内共存

NR-V2X 作为 LTE-V2X 的技术演进，通过对关键技术的增强设计，为高层业务提供更加高效、灵活和可靠的传输。相对于 LTE-V2X，NR-V2X 的技术增强包括灵活的帧结构设计（多种子载波间隔、DMRS 密度），增强信道编码技术、HARQ 反馈等。

表 2-1 NR-V2X 和 LTE-V2X 功能比较

功能	LTE-V2X	NR-V2X
HARQ 反馈	无	HARQ ACK/NACK 反馈
Sidelink 同步	可选	必选
子载波间隔	15KHz	15KHz, 30KHz, 60KHz,120KHz
时隙长度	1ms	1ms, 500us, 250us,125us
空分复用	无	2 layers
SPS 调度	100/50/20ms 和 n*100ms	[1...100] ms 和 n*100ms
传输模式	广播	广播、组播、单播
编码	TBCC 和 Turbo	LDPC 和 Polar
HARQ 重传次数	盲重传，最多 2 次（包括初传）	最高 32 次（包括初传）

车载信息联盟与未来移动通信论坛 V2X 联合工作组在 2020 年已发布白皮书，就 NR-V2X 关键技术进行介绍。本白皮书主要集中在 NR-V2X PC5 直连通信候选频段和兼容性研究。

### 3 中国智能网联汽车发展和规划

根据《智能网联汽车技术路线图 2.0》中的愿景规划 [1]，到 2035 年，中国方案智能网联汽车技术和产业体系全面建成、产业生态健全完善，整车智能化水平显著提升，高度自动驾驶智能网联汽车大规模应用。由于采用智能化和网联化技术，驾乘安全和舒适性明显提高，交通事故和伤亡人数大幅降低，交通出行和物流运输效率显著提升，交通能源消耗和污染排放有效降低。中国方案智能网联汽车关键核心技术处于国际领先水平，有效助推汽车产业转型升级、新兴产业经济重构和安全、高效、绿色的汽车社会文明形成，促进建设世界汽车强国的战略目标实现，中国智能网联汽车总体发展规划路线图如表 3-1：

表 3-1 中国智能网联汽车总体发展规划路线图

总体目标	到 2025 年，确立中国方案智能网联汽车发展战略。PA、CA 级智能网联汽车占当年汽车市场销量的 30%，HA 级智能网联汽车开始进入市场，C-V2X 终端新车装配率达 50%，网联协同感知开始在高速公路、城市道路节点（如交叉路口、匝道口）和封闭园区实现成熟应用，具备网联协同决策功能的车辆进入市场。在高速公路、专用车道、停车场等限定场景及园区、港口、矿区等封闭区域实现 HA 级智能网联汽车的商业化应用。	到 2030 年，中国方案智能网联汽车成为国际汽车发展体系重要组成部分。PA、CA 级智能网联汽车占当年汽车市场销量的 70%，HA 级占比超过 20%，C-V2X 终端新车装配基本普及，具备车路云一体化协同决策与控制功能的车辆进入市场。HA 级智能网联汽车在高速公路广泛应用，在部分城市道路规模化应用。	到 2035 年，中国方案智能网联汽车产业体系更加完善，与智能交通、智慧城市产业生态深度融合，打造共享和谐、绿色环保、互联高效、智能安全的智能社会，支撑我国实现汽车强国、步入汽车社会，各类网联式高度自动驾驶车辆广泛运行于中国广大地区。
车辆关键技术	到 2025 年，车辆关键技术全面满足 CA、部分场景 HA 自动驾驶需求。障碍物检测能力达到 200 米以上；能够提供覆盖全国 80%道路的智能决策技术；实现面向 ADAS 功能的车辆纵向、侧向、垂向动力学协同耦合控制及底层执行器控制算法开发；建立基于域控制器的电子	到 2030 年，车辆关键技术全面满足 HA 自动驾驶需求，障碍物检测能力达到 500 米以上；能够提供覆盖全国 90%道路场景的 HA 智能决策技术；实现线控系统集成化控制。建立以计算平台为核心的电子电气架构平台，计算平台支持 HA 级自动驾驶和协同决策与控制。	到 2035 年，车辆关键技术可满足 FA 自动驾驶需求。障碍物检测能力达到 1000 米以上；建立适用于完全自动驾驶（FA）的智能决策技术；实现线控系统的集成化和模块化设计；通过搭建基于车路云一体化的车辆平台架构，在网联环境下实现整车云端协同控制，计算平台具

	电气架构平台，计算平台支持 CA 级自动驾驶和协同感知。		备和车-路-云全方位无缝协同的能力。
信息交互关键技术	建成区域级智能网联汽车大数据云控基础平台。基于车路数字化信息共享的驾驶辅助技术成熟应用、车路融合环境感知技术实现应用、车路融合的辅助定位技术成熟；智能道路进一步支撑自动驾驶实现，在高速公路实现基于交通基础设施的 HA 级自动驾驶，在城市快速路实现基于交通基础设施的 CA 级自动驾驶。	到 2030 年，NR-V2X 6GHz 以上毫米波技术成熟，建成国家级智能网联汽车大数据云控基础平台，实现在多个城市全区域和多条高速公路全路段自动驾驶和交通管控的数据运营。基于车路云协同决策的自动驾驶技术逐步成熟，在重点路口、路段和封闭园区实现应用。	到 2035 年，V2X 技术支持 HA 级别以上自动驾驶的商用。形成较为完备的、标准化的全国车路云一体化自动驾驶与智能交通实时大数据共享与服务体系，平台能力满足大规模 HA 级自动驾驶车辆信息服务需求，通过对单车与多车驾驶过程的决策引导，大幅提升城市交通整体运行效率。能够实现基于车路云一体化协同控制的自动驾驶技术应用。
基础支撑关键技术	到 2025 年，完善人工智能环境感知算法，提升无人驾驶深度学习、端到端智能控制等领域的理论研究；构建基于“感知-决策-控制”的智能网联汽车信息安全防护体系；在 CA 级及以上智能网联汽车实现功能安全标准的应用；高精度地图数据精度达到广域亚米级、局域分米级，支持 HA 级自动驾驶；高精度定位精度达厘米级；具备支撑 CA 级智能网联汽车验证能力，形成 CA 级测试评价体系；在智能网联汽车各细分领域，制定 100 余项标准。	到 2030 年，突破多传感器环境感知算法深度融合技术；实现 CA、HA 级别智能网联汽车信息安全防护体系落地实施，建立完善预期功能安全测试验证方法，保障 CA、HA 级智能网联汽车行驶安全测试需求；高精度地图数据精度达到广域分米级、局域厘米级，高精度定位动态下精度稳定在厘米级；具备支撑 HA 级智能网联汽车验证能力，形成 HA 级测试评价体系；形成不断更新迭代的智能网联汽车中国标准体系，标准体系可适用于 HA 级及以上车辆的量产应用需求。	到 2035 年，全面实现高级别无人驾驶汽车的人工智能控制；信息安全防护体系的全面落地实施；实现功能安全标准和预期功能安全标准在 FA 级智能网联车辆整车、系统和芯片上的应用；高精度地图数据精度接近厘米级，可提供稳定的全域室内厘米级高精度定位服务，满足智能网联汽车 FA 级别需求。具备支撑 FA 级智能网联汽车验证能力，形成 FA 级测试评价体系。全面形成技术先进、结构合理、内容完善的智能网联汽车中国标准体系。

从以上的路线图规划可以看到，NR-V2X 技术对未来智能网联汽车的发展起着至关重要的作用，各个标准组织也纷纷开展 NR-V2X 技术及其应用场景标准的布局。例如，在汽标委智能网联汽车分标委的《基于网联技术的汽车安全预警类应用场景标准化需求研究报告》中 [2]，规划了在制定基本安全应用的标准后，即从 2025 年开始协作式安全碰撞预警类高级场景的研究，整体规划如下：



表 3-2 NR-V2X 技术及其应用场景标准整体规划

序号	分类	场景名称	标准年限
1	路口碰撞预警	交叉路口碰撞预警、车辆汇入、左转辅助	2021
2	车辆状态安全提醒	异常车辆提醒、车辆失控提醒、紧急制动提醒	2021-2022
3	路侧信息提醒	闯红灯预警、限速预警、道路施工提醒、急转弯提醒、道路危险状况提醒、天气提醒	2022
4	弱势交通参与者碰撞预警	弱势交通参与者碰撞预警	2024
5	协作式安全碰撞预警	协作式交叉路口通行、协作式变道、协作式车辆汇入、交通参与者感知共享、道路异常状况感知共享、弱势交通参与者安全通行	2025

对于其中的协作式交叉路口通行、协作式变道、协作式车辆汇入、交通参与者感知共享、道路异常状况感知共享、弱势交通参与者安全通行等应用场景，计划立项国家标准《协作式安全碰撞预警系统技术要求及试验方法》，此类高级应用场景的实现一定离不开本文所进行的 NR-V2X 基础技术研究的支持。

## 4 NR-V2X 候选频段分析

在 CCSA 的《NR-V2X 直连通信频谱需求》[11]研究报告中，以及未来移动通信论坛发布的白皮书《自动驾驶 5G NR V2X 直联通信频谱需求》[10]中，对 NR-V2X 的频谱需求进行了评估。评估结合目前 5G NR-V2X 直连通信用例假设、系统参数假设、业务参数假设和可靠性要求，研究了广播模式以及组播模式的业务建模以及频谱需求。研究中指出，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通信的自动驾驶。

5.9 GHz 作为 ITU-R 全球范围以及区域性融合的 ITS 频谱，可以为 C-V2X 和相关 ITS 业务发展带来规模经济效益。白皮书《自动驾驶 5G NR V2X 直联通信频谱需求》中建议在 5.9GHz 中除了分配用于 LTE-V2X 提供基本安全业务的 20 MHz 频率，应额外至少预留 40MHz，用于支持近期部署的采用基于 5G NR-V2X 直连通信（广播模式、组播模式以及单播模式）的自动驾驶技术。因此，本报告选取 5.9GHz 作为适合 NR-V2X 技术的近期和中期候选频段，应针对此频段开展相关共存兼容性研究。

在频率需求的研究报告中也指出 5.9 GHz 频率仅有 75MHz，用这个频率范围可能不足以支持超高数据速率的应用。结合汽车行业发展情况和先进应用发展的情况，长期来看，全球范围针对未来 ITS 行业可能发展的超高数据速率应用，将来还可能研究新的候选频率。然而，当前产业对于超高数据速率的应用需求和部署场景等研究还不充分，尚没有面向超高数据速率应用的 NR-V2X 候选频段方案提出。未来待产业需求明确，基于较为成熟的应用需求和部署场景等，适时开展频率需求研究，并进一步寻找更多的候选频段，以满足远期更多超高数据速率应用的频率需求。

## 5 5.9 GHz 频段共存兼容性研究

在 5.9GHz 已经分配了 LTE-V2X、固定卫星业务和固定业务，5850MHz 以下存在无线接入业务以及短距离微功率等，具体分配情况如图 5-1。本章节结合频率需求、已有频率分配和使用情况，开展 5.9 GHz 相应的同频与邻频共存和兼容性研究。



图 5-1 5.9GHz 频谱分配情况

具体的共存兼容性研究包括如下内容：

- 1) NR-V2X 和 LTE-V2X 邻频共存
- 2) NR-V2X 和无线局域网（RLAN）邻频共存
- 3) NR-V2X 和固定卫星业务（FSS）同频和邻频共存
- 4) NR-V2X 和固定业务（FS）同频和邻频共存

## 5.1 NR-V2X 与 LTE-V2X 的共存

### 5.1.1 系统参数

#### 1) NR-V2X 系统参数

表 5.1.1-1 NR-V2X 系统参数

系统参数	数值
带宽和子载波间隔	40 MHz, 30 kHz
业务模型 传感器共享信息	数据包大小: 1200 Bytes 数据包发送频率为 10Hz, 即每 100ms 发送一次 数据激活比例: 50%
仿真环境	城区、高速 (6 车道)
车辆模型	城区: 60km/h, TTC = 2 s. 高速: 70km/h, TTC = 2 s.
天线模型	1Tx 2Rx, 水平方向全向天线, 3 dBi 天线增益; 垂直方向天线方向图参照 ITU-R F.1336
发射功率 (传导口)	23 dBm 对采用 CP-OFDM 和 16QAM, 有额外 2.5 dB 功率回退; 对采用 CP-OFDM 和 64QAM, 有额外 4.5 dB 功率回退
噪声系数 (NF)	9 dB
最大重传次数	最多 4 次, 1 次初传和最多 3 次 HARQ 重传
DMRS symbol	[4, 10]
带内杂散	{W, X, Y, Z} = {3, 6, 3, 3}

2) LTE-V2X 系统参数

表 5.1.1-4 LTE-V2X 系统参数

系统参数	数值
带宽和子载波间隔	20 MHz, 15 kHz
业务模型 基本安全信息	数据包大小: 190Bytes, 300Bytes
仿真环境	城区、高速 (6 车道)
车辆模型	TTC = 2 s.
天线模型	1Tx 2Rx, 全向天线, 3 dBi 天线增益
发送功率	23dBm, 有额外 2 dB 功率回退
噪声系数 (NF)	9 dB
DMRS symbol	固定 4 列导频
带内杂散	{W, X, Y, Z} = {3, 6, 3, 3}

3) 仿真拓扑

- 高速场景: 双向六车道

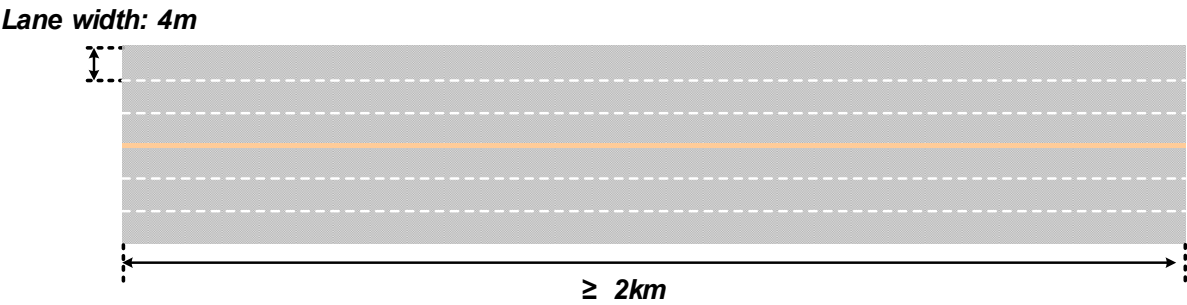


图 5.1.1-1 高速场景拓扑

- **城区场景：** 仿真的城区拓扑参考 3GPP TR 38.886，街区大小为 3\*433m, 3\*250m。

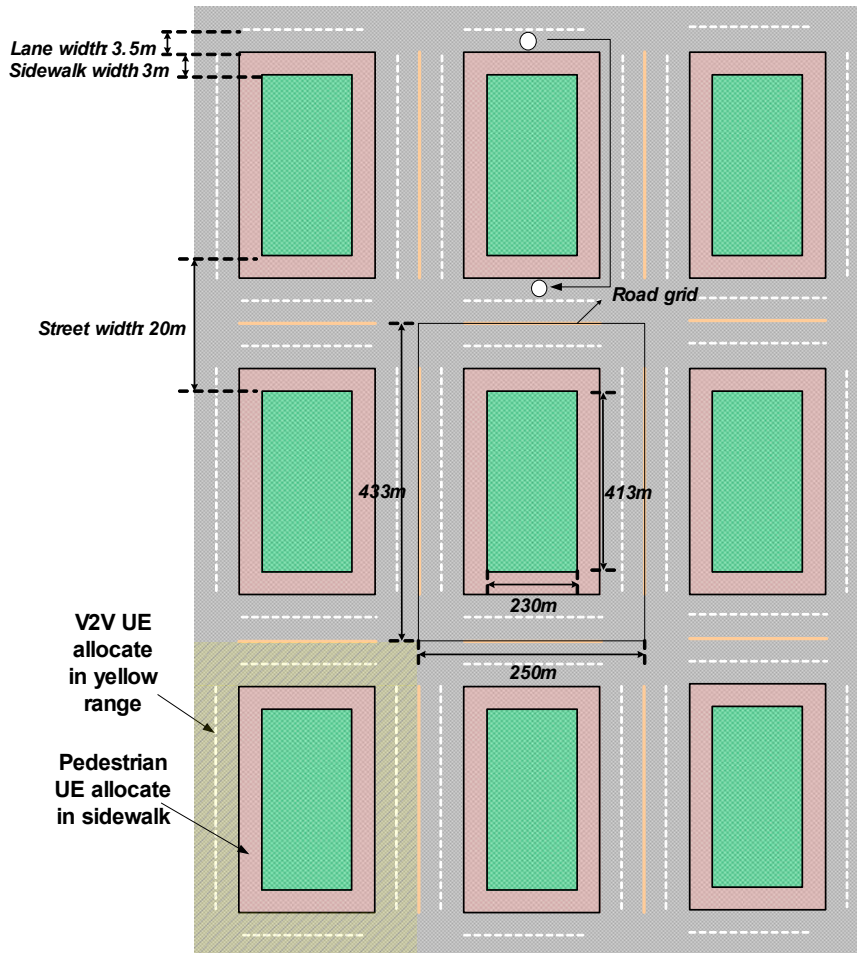


图 5.1.1-2 城区场景拓扑

#### 4) ACIR 的计算

ACIR 根据干扰系统 ACLR 与被干扰系统 ACS 指标计算获得，ACIR 计算公式为

$$ACIR^{-1} = ACLR^{-1} + ACS^{-1}$$

干扰方和被干扰方采用不同的带宽，因此需要采用非对称带宽的 ACIR 计算方式。假设 LTE-V2X 每个用户有 4MHz 的带宽，NR-V2X 每个用户有 12MHz 的带宽。具体的频域资源分配方式如下图所示。基于此种假设，对非对称带宽的 ACIR 计算进行示例解释。

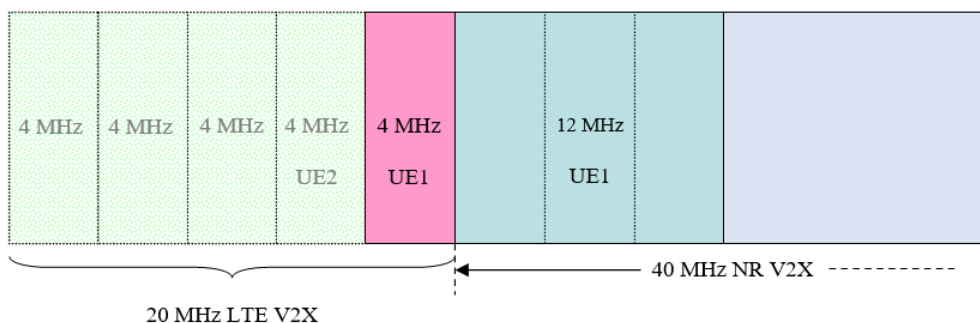


图 5.1.1-3 ACIR 计算示意图

### • NR-V2X 干扰 LTE-V2X

这种情况下，干扰方有更大的带宽，参照 36.942 的 5.1.1.4.1 章节，3 个邻近 NR-V2X 用户的 LTE-V2X 用户的 ACLR 值为  $30 + X - F_{ACLR}$ ，其他 2 个在频谱边缘处的 LTE-V2X 终端的 ACLR 值为  $43 + X - F_{ACLR}$ 。其中  $F_{ACLR}$  是带宽的转换系数， $F_{ACLR} = 10 \times \log_{10}(B_{victim}/B_{aggressor}) = 10 \times \log_{10}(4/12) = -4.77$ 。

对于 ACS 的取值，参考 38.886 的 5.2.1.3 章节和 36.101-1-g40 的 7.5 章节，采用两阶 ACS 数值，为 (27, 43) dB。当干扰方的发送频率和被干扰方的接收信道边缘的频率偏差小于 10MHz 时，ACS1 数值适用；当大于 10MHz 时，ACS2 适用。10MHz 的频率偏差来自 LTE V2X 对 ACS 和带内阻塞指标的定义。

### • LTE-V2X 干扰 NR-V2X

这种情况下，被干扰方有更大的带宽，参照 36.942 的 5.1.1.4.2 章节可知，虽然干扰方和被干扰方的带宽是非对称的，但是仍可采用对称带宽时的结论，即两阶的 ACLR 数值 (30+X, 43+X, 43+X) 仍然适用。更详细地，当干扰方和被干扰方的频谱差异小于干扰方的带宽时，采用 ACLR 的第一阶数值，即 30+X；当干扰方和被干扰方的频谱差异大于干扰方的带宽时，采用 ACLR 的第二阶数值，即 43+X。

对于 ACS 的取值，参考 38.886 的 5.2.1.3 章节和 9.1.3 章节，采用两阶 ACS 模型，取值为 (24, 40) dB。

## 5.1.2 干扰保护准则

### 5.1.2.1 LTE-V2X 干扰保护准则

3GPP 制定 LTE-V2X 技术标准时，考虑了其他标准化组织（比如 GSMA connected living, ETSI ITS, US SAE 等）或者政府机构（韩国陆地部 C-ITS project 等）定义的 V2X 业务和参数。3GPP 22.885 从 SA 角度制定了 LTE-V2X (V2V, V2I 和 V2P) 基本用例和需求，表 5.1.2.1-1 提供了 LTE-V2X 业务的参数和可靠性要求示例。

表 5.1.2.1-1 : LTE-V2X 业务 3GPP 参数示例

场景	有效范围	两个终端之间的 相对车速	最大能容忍的 延时	应用层消息的最低 接收可靠性
#1 郊区	200m	100kmph	100ms	90%
#2 高速公路	320m	280kmph	100ms	80%
#3 高速公路(德国)	320m	280kmph	100ms	80%
#4 NLOS / 城区	100m	100kmph	100ms	90%
#5 城区十字路口	50m	100kmph	100ms	95%

其中，选取场景 2 和场景 5 分别作为 LTE-V2X 高速场景和城区场景的共存性能要求[1]。

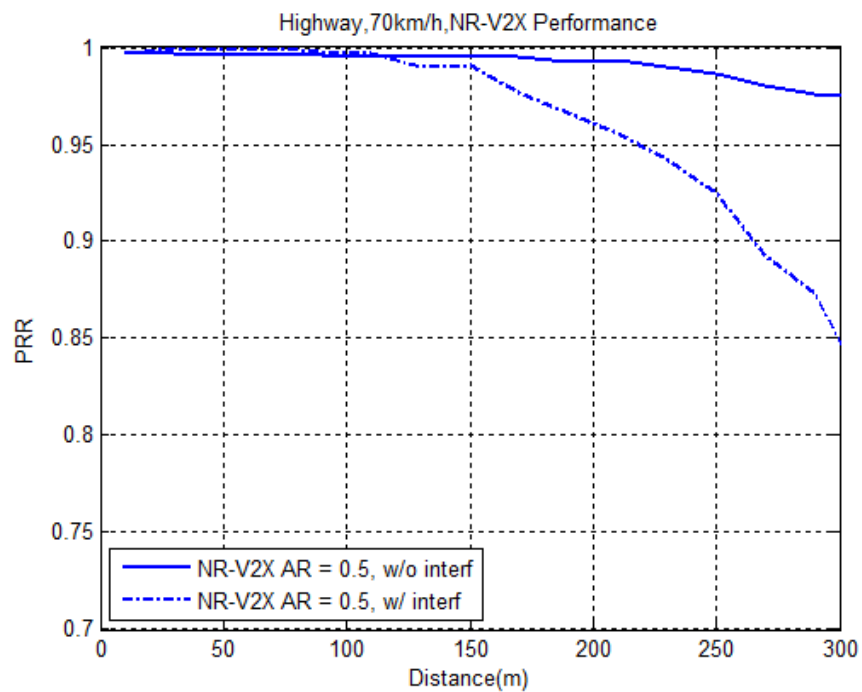
3GPP TR 38.886 对 LTE-V2X 进行共存仿真分析时，报告中采用 PRR 损失不超过 5% 作为 LTE-V2X 系统的干扰保护准则。本报告中，也采用系统的相对性能损失作为判断指标：高速场景，在 320 米处 PRR 性能损失不超过 5%；城区场景，在 50 米处 PRR 性能损失不超过 5%。

### 5.1.2.2 NR-V2X 干扰保护准则

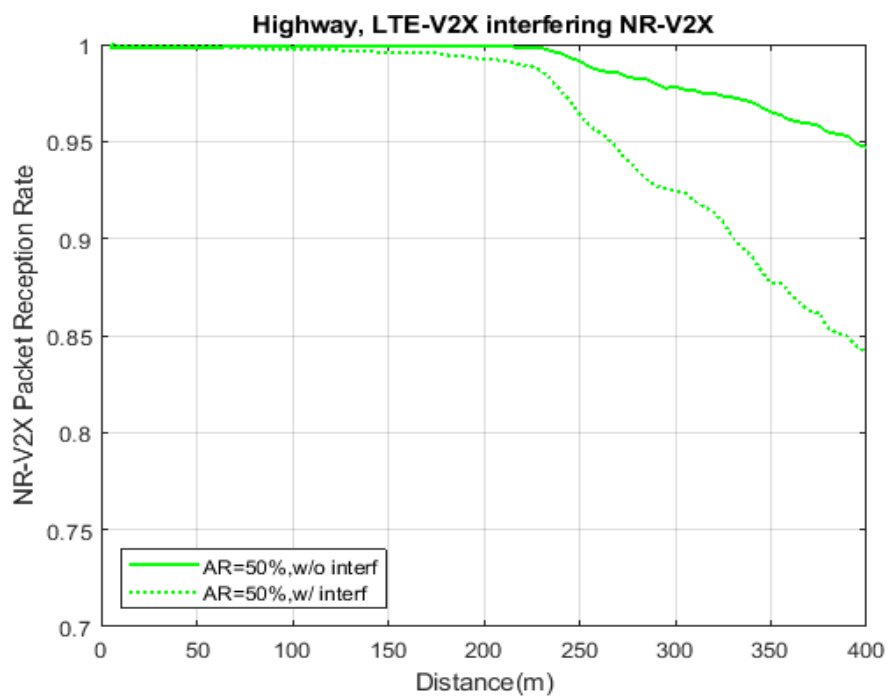
3GPP TR 38.886 对 NR-V2X 进行共存仿真分析，报告中采用 PRR 损失不超过 5% 作为判断 NR-V2X 的干扰保护准则。本报告中，也采用系统的相对性能损失作为判断指标：高速场景，在 200 米处 PRR 性能损失不超过 5%；城区场景，在 50 米处 PRR 性能损失不超过 5%。

### 5.1.3 LTE-V2X 干扰 NR-V2X：高速场景

- 仿真结果：大唐

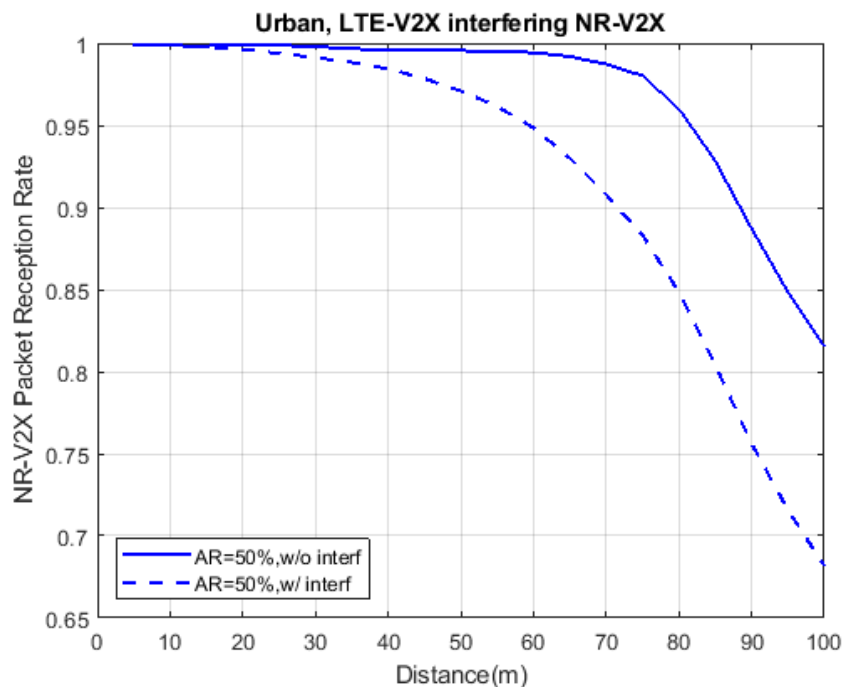


- 仿真结果：高通



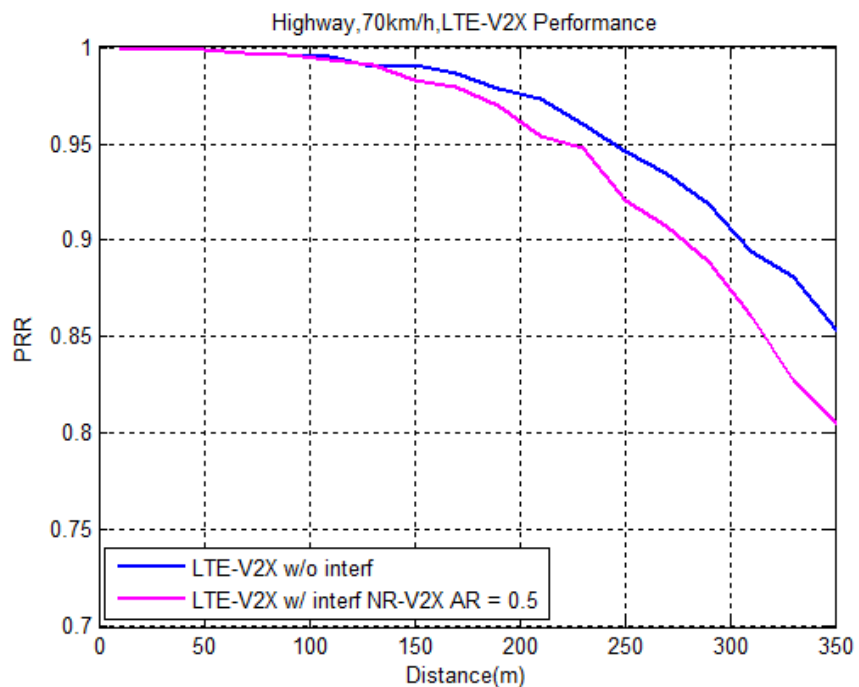


### 5.1.4 LTE-V2X 干扰 NR-V2X：城区场景

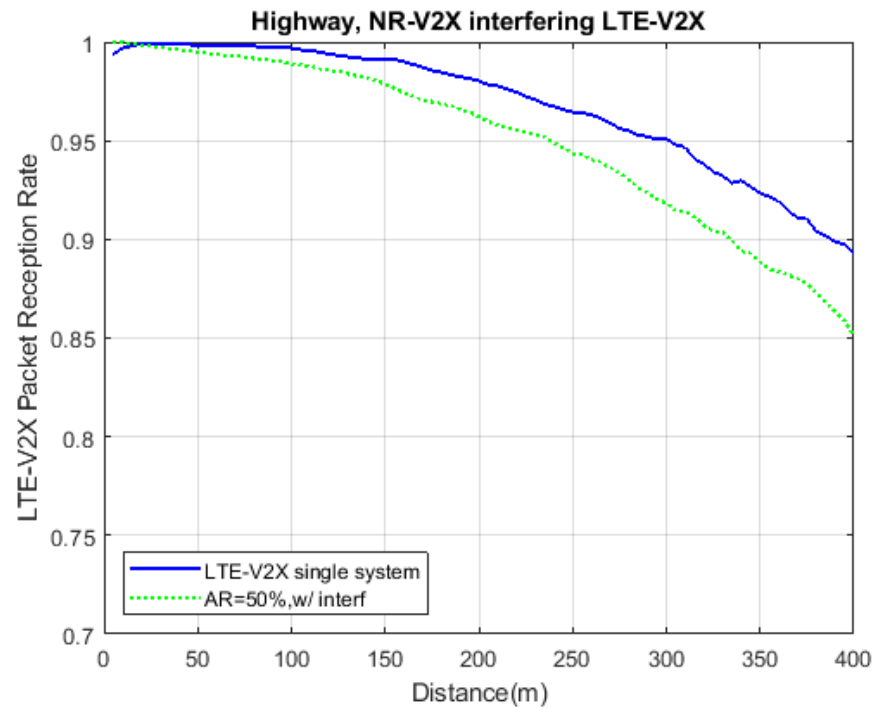


### 5.1.5 NR-V2X 干扰 LTE-V2X：高速场景

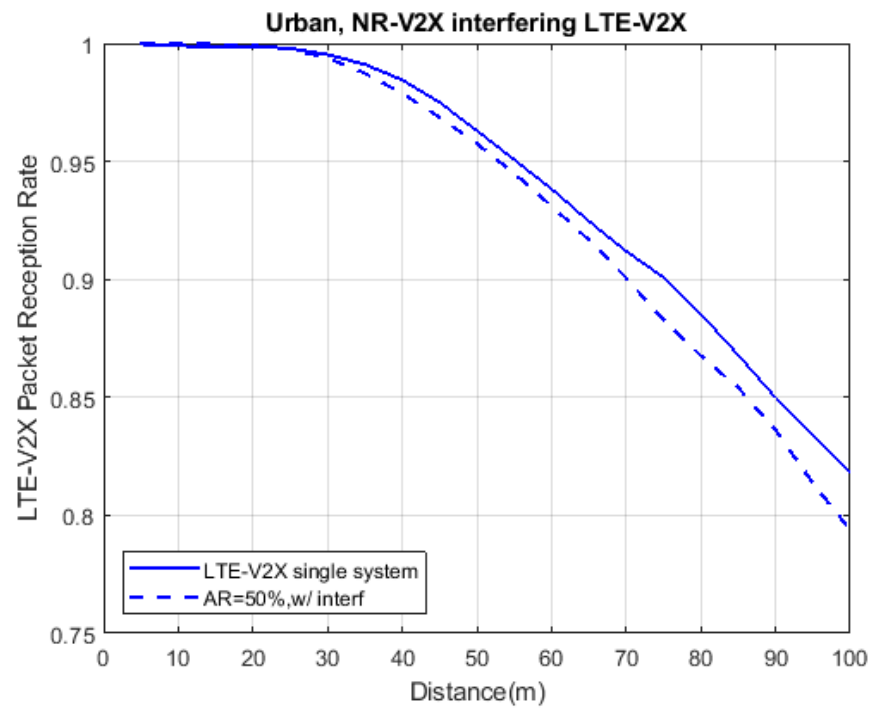
- 仿真结果：大唐



- 仿真结果：高通



### 5.1.6 NR-V2X 干扰 LTE-V2X：城区场景



### 5.1.7 共存性能分析

表 5.1.7-1 NR-V2X 与 LTE-V2X 共存性能分析

干扰场景		性能损失情况
高速	LTE-V2X 干扰 NR-V2X	200 米处，PRR 性能损失约为 1 ~ 3%
	NR-V2X 干扰 LTE-V2X	320 米处，PRR 性能损失约为 3 ~ 4.5%
城区	LTE-V2X 干扰 NR-V2X	50 米处，PRR 性能损失约为 3%
	NR-V2X 干扰 LTE-V2X	50 米处，PRR 性能损失约为 1%

通过系统仿真，对 NR-V2X 和 LTE-V2X 两个系统的相互干扰情况进行了四个场景的分析。从仿真结果可以看出，无论高速还是城区场景下，LTE-V2X 对 NR-V2X 系统的干扰和 NR-V2X 对 LTE-V2X 系统的干扰，带来的系统性能下降均小于 5%。两个 C-V2X 系统的设计能够容纳外来的干扰并保证性能的鲁棒性，因此，NR-V2X 和 LTE-V2X 可以在邻频共存工作。

## 5.2 NR-V2X 与 RLAN 的共存

### 5.2.1 系统参数

#### 1) NR-V2X 系统参数

NR-V2X 系统参数参考 5.1.1 章节。NR-V2X 的干扰保护准则与 5.1.2.2 章节一致。

#### 2) RLAN 系统参数

表 5.2.1-1 RLAN 系统参数

系统参数	数值
中心载频	5.8 GHz
带宽 <sup>1</sup>	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz
天线模型	全向天线, 天线增益与 RLAN 的应用场景相关 室外: 5 dBi 天线增益 车内: 0 dBi 天线增益
AP 传导功率 <sup>2</sup>	20 dBm
业务模型 <sup>3</sup>	业务激活因子 20%
CSMA 检测门限	-91 dBm for 20 MHz (preamble detection) -62 dBm/20MHz (energy detection)
AP 数目	室外: 每个街区有 6 个室外 AP 车内: 每个车内 1 个 AP
备注: 1、不同的带宽对应着不同的信道划分, 同时与频段上边缘的频率间隔也有不同。 2、RLAN EIRP 包括传导功率、天线增益和赋形增益。在邻频共存分析时, 赋形增益不予考虑。 3、RLAN AP 业务数据在建模时需要考虑激活因子, 即并不是所有的 AP 都在同时发送数据。当激活因子为 20% 时, RLAN 每 5ms 发送一个数据包。	

具体的 RLAN 信道划分如图 5.2.1-1 所示。假设 NR-V2X 候选频段的下边界为 5855MHz，那么可以计算出不同带宽情况下距离 5855MHz 的频率间隔，计算结果如表 5.2.1-2 。从表格中能够看出，由于 RLAN 的信道划分规则，RLAN 与其他系统存在着较好的保护间隔。

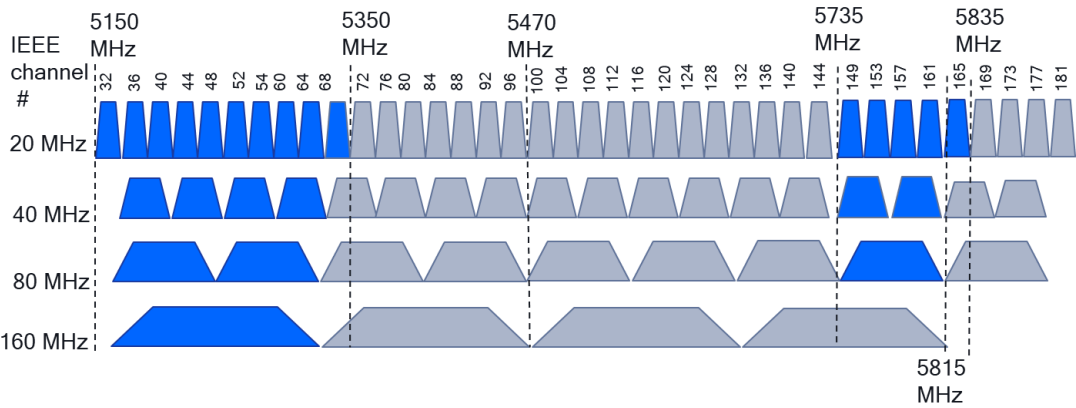


图 5.2.1-1 RLAN 信道划分示意图

表 5.2.1-2 RLAN 信道间隔表

RLAN 带宽 (MHz)	上边界 (MHz)	距离 5855 MHz 的间隔
20	5835	20
40	5815	40
80	5815	40

### 3) 仿真拓扑

仿真拓扑参考 5.1.1 章节。

#### 4) ACIR 的计算

ACIR 根据干扰系统 ACLR 与被干扰系统 ACS 指标计算获得，ACIR 计算公式为

$$ACIR^{-1} = ACLR^{-1} + ACS^{-1}$$

##### • RLAN 干扰 NR-V2X

ACLR 的计算可以通过频谱辐射模板来计算，具体计算公式如下

$$ACLR = 10 \log_{10} \frac{\int_{f_1}^{f_2} S(f) df}{\int_{f_3}^{f_4} S(f) df}$$

其中， $f_1$  和  $f_2$  指的是 RLAN 信道的频率范围上下限， $f_3$  和  $f_4$  指的是在邻道的 NR-V2X 的频率范围。

IEEE 802.11 定义的 20MHz 的 RLAN 邻频辐射模板为图 5.2.1-2，不同的信道带宽大小会有细小差异。根据 RLAN 的发送功率并经过单位转换，不同的邻道泄露情况计算如图 5.2.1-3。

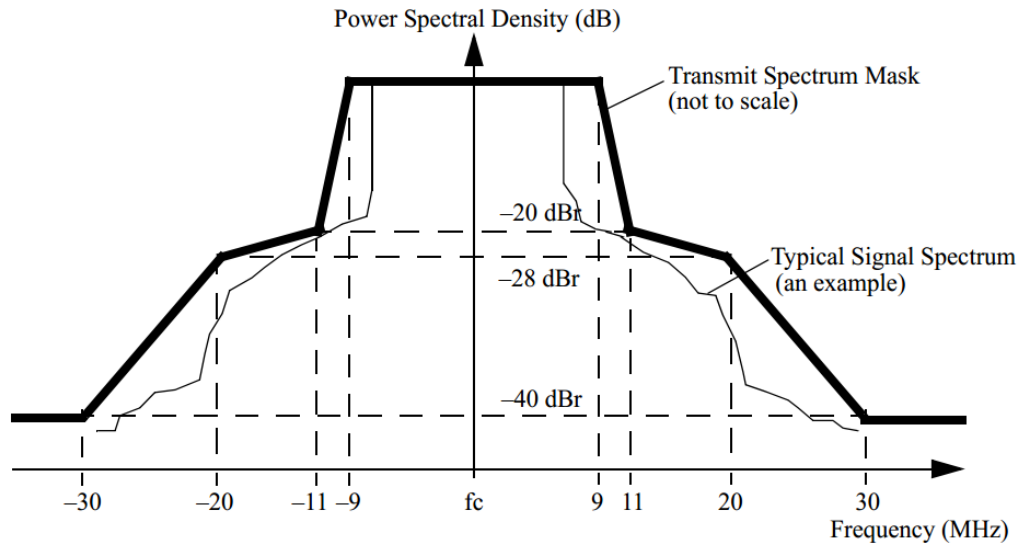


图 5.2.1-2 802.11 发射机频谱辐射模（20MHz 带宽）

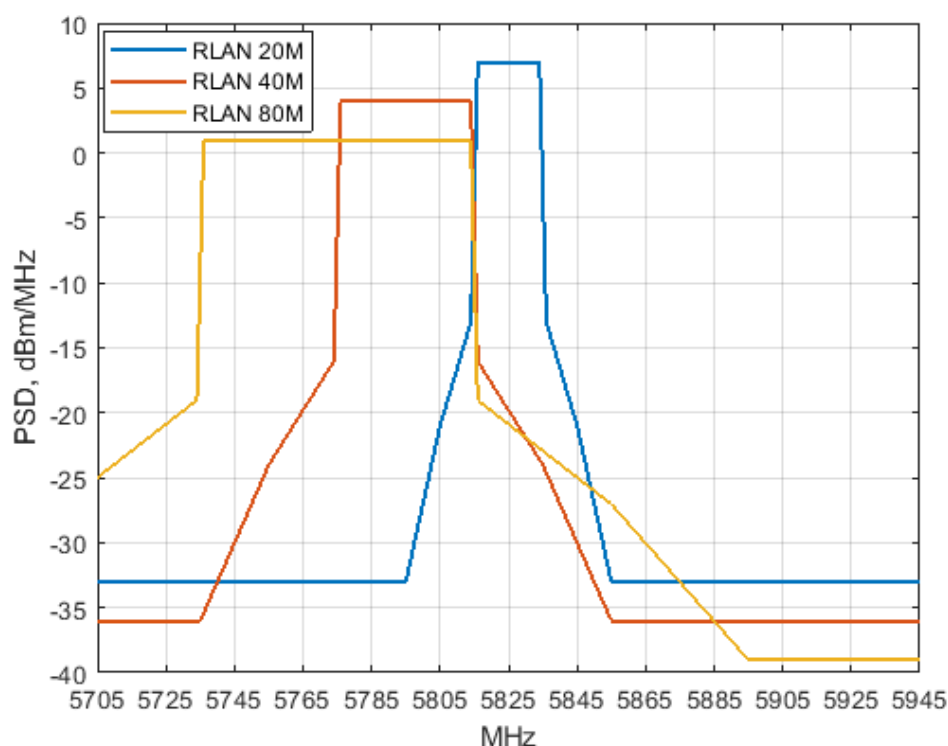


图 5.2.1-3 RLAN 不同带宽的 PSD 示意图

从图 5.2.1-3 中可以看出，RLAN 带宽为 20MHz 时，带外泄露的功率最大。因此 RLAN 采用 20MHz 带宽可认为是干扰最大的情况。因此，进行共存的系统仿真时，采用 RLAN 为 20MHz 的配置来分析干扰的影响。

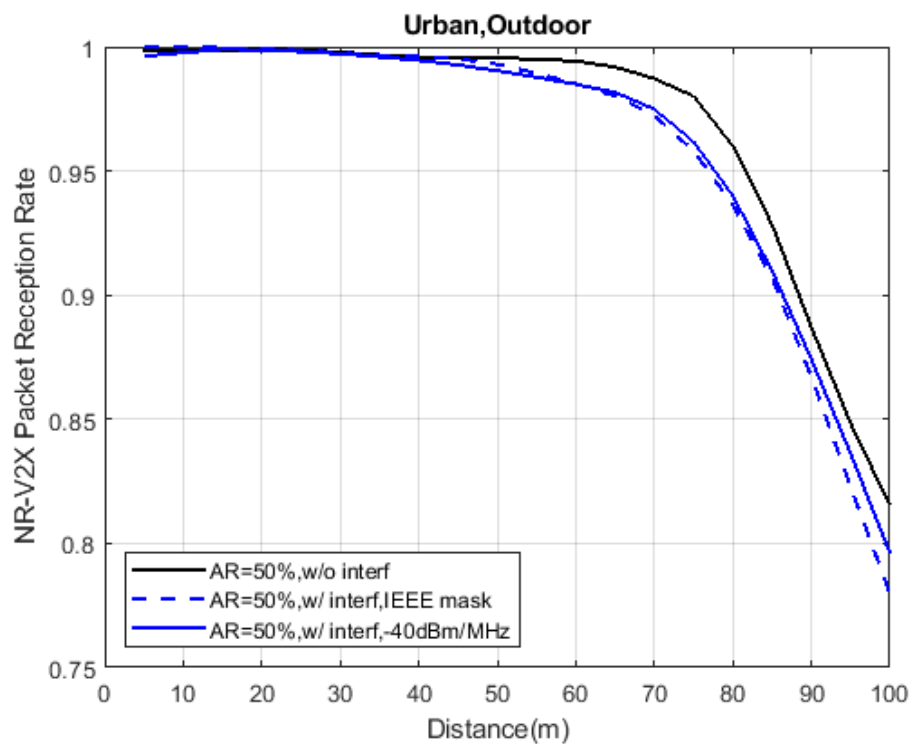
目前，《2400MHz、5100MHz 和 5800MHz 频段无线电管理规定》正在修订，对于 5.8GHz (5725~5850 MHz) 的无线接入系统等对若干特殊频段保护可能会采用更加严格的杂散辐射要求。因此，在 RLAN 与 NR-V2X 的共存仿真中也考虑了 5.8GHz RLAN 在特殊频段 5855MHz~5925MHz 杂散辐射限值为 -40dBm/MHz 的性能进行对比分析。

NR-V2X 的 ACS 取值和 5.1.1 章节相同。

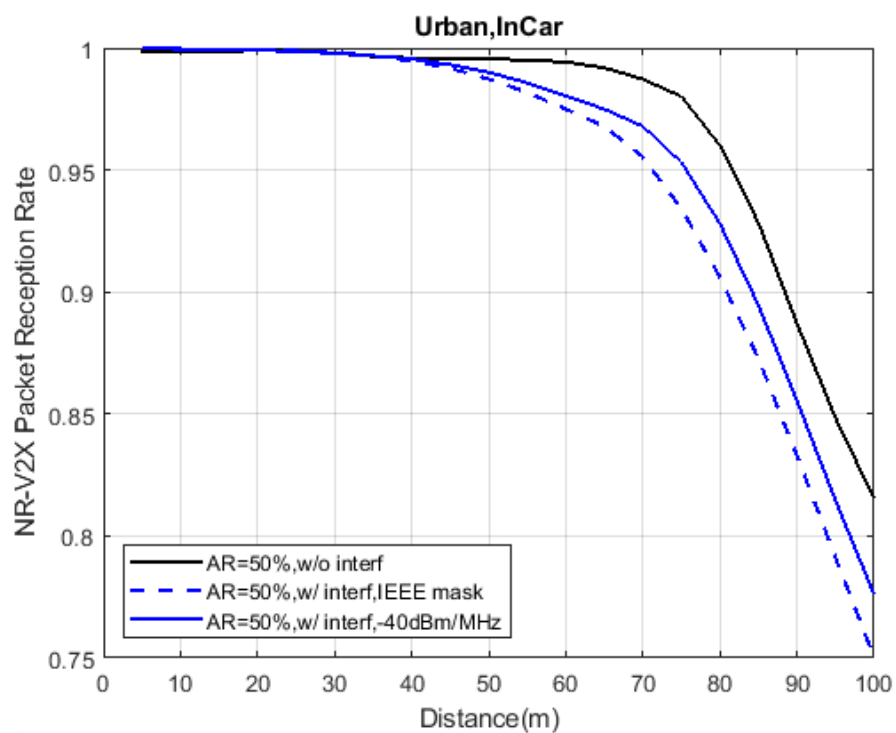
#### • NR-V2X 干扰 RLAN

工作在 2400MHz、5100MHz 和 5800MHz 频段内无需办理无线电台执照的无线电台（站），原则上不能提出免受有害干扰的保护要求，因此不开展 NR-V2X 对工作在 5.8GHz 频段的 RLAN 的干扰研究。

### 5.2.2 室外 RLAN 干扰 NR-V2X：城区场景

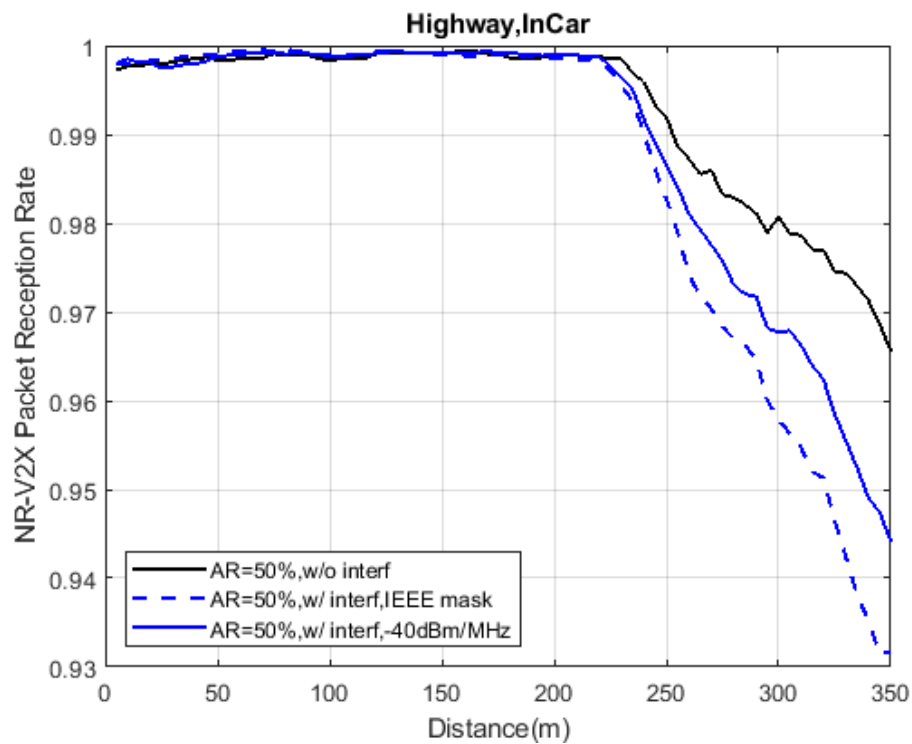


### 5.2.3 车内 RLAN 干扰 NR-V2X：城区场景





5.2.4 车内 RLAN 干扰 NR-V2X：高速场景



5.2.5 共存性能分析

表 5.2.5-1 RLAN 干扰 NR-V2X 性能分析

干扰场景	杂散辐射要求	性能损失情况
室外 RLAN，城区	IEEE 模板	50 米处，PRR 性能损失约为 0.5%
	-40dBm/MHz	50 米处，PRR 性能损失约为 0.5%
车内 RLAN，城区	IEEE 模板	50 米处，PRR 性能损失约为 1.2%
	-40dBm/MHz	50 米处，PRR 性能损失约为 1%
车内 RLAN，高速	IEEE 模板	200 米处，PRR 性能损失约为 0.5%
	-40dBm/MHz	200 米处，PRR 性能损失约为 0.5%

通过系统仿真，分析了三种场景下，RLAN 系统对 NR-V2X 系统的干扰影响。从仿真结果能看出，在两种杂散辐射要求下，RLAN 干扰对 NR-V2X 带来的系统性能损失在 0.5%~1.2%左右，远小于 5%的性能损失门限。更加严格的杂散辐射要求能降低较远通信范围的性能损失。

NR-V2X 系统可以在 5855MH 频段以上与 RLAN 系统进行邻频共存。

## 5.3 NR-V2X 与 FSS 的共存

### 5.3.1 系统参数

#### 1) NR-V2X 系统参数

NR-V2X 系统参数参考 5.1.1 章节。NR-V2X 的保护准则采用 I/N 为-6dB。

#### 2) FSS 系统参数

FSS 系统参数分为卫星空间站系统参数和地球站系统参数。参数取值综合考虑 ITU-R S.2367 和 LTE-V2X 与 FSS 的共存研究，基于参数完整性及频率尽量接近的原则，参数取值选取如表 5.3.1-1 和表 5.3.1-2。

在本章节进行干扰共存分析时，先考虑进行同频共存分析。假如同频分析可以满足共存的条件，在邻频参数不变时也同样能够满足共存条件，并且邻频会引入 ACIR 的参数，两个系统可以更好的进行共存。

表 5.3.1-1 FSS 卫星空间站系统参数

参数	取值
工作频段	5850~6425 MHz
轨位高度	36000 km
天线增益	24.8 dBi
天线模型	ITU-R S.672-4 建议书 附件 1 中 1.1 章节单馈源圆波束，模型中 $L_s = -25, 3\text{dB}$ 波束宽度= 14
波束带宽	36 MHz
噪声温度	700 k
干扰保护要求 (I/N)	-10.5 dB
允许的最大干扰功率	-120.36 dBm/MHz

表 5.3.1-2 FSS 地球站系统参数

参数	数值
工作频段	5850~6425 MHz
地球站发射带宽	2 MHz
最大发射功率	40 dBm
馈线损耗	1 dB
最大天线增益	36 dBi
天线模型	ITU-R S.465-6 建议书
地球站高度	10 m
天线口径	2.4 m

FSS 地球站天线模型采用 ITU-R S.465-6 建议书的相关规定 [4]，具体计算公式如下所示：

$$G = \begin{cases} 32 - 25\log\varphi, & \varphi_{\min} \leq \varphi < 48^\circ \\ -10, & 48^\circ \leq \varphi < 180^\circ \end{cases}$$

其中  $\varphi$  为干扰方向和地球站主波束轴方向的空间夹角，即离轴角； $\varphi_{\min}$  的计算方式如下。

$$\varphi_{\min} = \begin{cases} \max\left(1^\circ, 100\left(\frac{\lambda}{D}\right)\right), & \frac{D}{\lambda} \geq 50 \\ \max\left(2^\circ, 114\left(\frac{D}{\lambda}\right)^{-1.09}\right), & \frac{D}{\lambda} < 50 \end{cases}$$

$D$  为距离， $\lambda$  为波长。

## 5.3.2 NR-V2X 干扰 FSS 的卫星空间站

### 5.3.2.1 分析方法及拓扑结构

该频段存在 FSS 的同步轨道卫星，卫星轨道高度接近 36000km，可以形成全球波束覆盖很大的面积。因此共存分析中需要考虑 FSS 系统整个覆盖范围内所有实际在路的 NR-V2X 终端产生的集总干扰，典型的拓扑结构可参考下图：

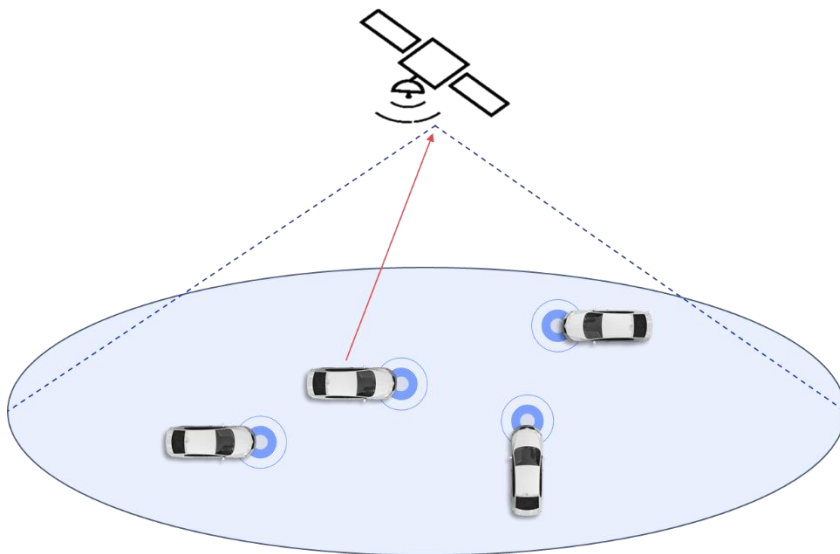


图 5.3.2.1-1 NR-V2X 终端对 FSS 空间站的集总干扰拓扑结构示意图

如上图所示，共存分析中可以先确定单个 NR-V2X 终端对 FSS 空间站的干扰功率，然后确定整个覆盖范围内同时干扰 FSS 卫星空间站的终端数目，最后计算出集总干扰功率。

由于该频段上的 FSS 同步轨道卫星覆盖面积很大，在保证共存分析结果可靠性的前提下可以考虑如下的分析思路：

- 先计算出一个典型的 NR-V2X 终端对 FSS 空间站的干扰功率
- 确定 FSS 卫星覆盖范围内同时对其产生干扰的 NR-V2X 终端总数
- 计算集总干扰功率并判断是否满足共存要求

#### 1) 单终端干扰功率计算

一个典型的 NR-V2X 终端的干扰功率可以采用如下公式来计算：

$$I_k = P_{tx,k} + G_{tx,k} - PL + G_{rx}$$

其中， $P_{tx,k}$ 代表第 k 个 NR-V2X 终端的发射功率； $G_{tx,k}$ 代表第 k 个 NR-V2X 终端指向 FSS 卫星空间站的天线增益，该天线增益与终端侧的仰角有关；PL代表传播损耗，包括路径损耗，地物损耗以及气衰雨衰等额外损耗； $G_{rx}$ 代表 FSS 空间站接收机侧的天线增益。

需要注意的是上述公式中等号两边对应的带宽应保持一致，比如统一到每 1MHz 上。

## 2) 集总干扰终端数目确定

FSS GSO 卫星覆盖面积很大，横跨多个国家或地区，同时需要注意这一区域也横跨了 5~6 个时区，即使在我国范围以内西部和东部实际上也存在时差，所以早晚出行高峰时间是存在差异的。本报告需要计算的是某一特定时刻内实际在路上行驶的车辆总数，所以无需统计整个 FSS 覆盖范围内的车辆总数，需要统计的是同一时间段内（比如早高峰）的出行车辆总数。基于该思路，为简便，可直接统计中国的汽车保有量。

下面讨论如何确定在任意时刻实际参与集总干扰计算的 NR-V2X 终端总数应为  $N_{\text{active}}$  的取值。在确定该取值前需要先明确如下几个概念：

- 汽车保有量，即在某个特定区域或国家所拥有的所有汽车的总量。通过汽车保有量和该区域或国家的面积可以计算出汽车分布密度。
- 设备渗透率，即装载了 NR-V2X 相关设备的车辆占汽车保有量的比例。为保证整个系统的正常有效运行，设备渗透率的取值与年份有关，参考智能网联汽车技术路线图。
- 业务激活因子，装有 NR-V2X 设备的汽车，并不是总是在发送业务，业务存在一个激活因子，取值与 5.1 和 5.2 章节进行系统仿真的参数相同，50%。
- 汽车激活率，即在某一特定时刻实际在路行驶的车辆占车辆总数的比例。这里需要注意，车辆的统计类型需要保持一致，比如都统计机动车的数量，取值参考北京交通发展年报。
- 业务模型折算因子，其取值与业务模型相关。当某一项业务激活的时候，NR-V2X 终端有周期性的发送数据包，因此同时发送数据的终端数目需要再除去折算因子。

基于上述说明，可以计算出在任意时刻实际参与集总干扰计算的 NR-V2X 终端总数应为：

$$N_{\text{active}} = \frac{\text{汽车保有量} * \text{设备渗透率} * \text{业务激活因子} * \text{汽车激活率}}{\text{业务模型折算因子}}$$

下面讨论每个参数应该如何计算：

### a) 汽车保有量

据公安部交通管理局的统计，2020 年我国机动车保有量达 3.72 亿辆，其中汽车 2.81 亿辆。本报告以此数据为基准进行计算。NR-V2X 计划在 2025 年全面商用，考虑每年机动车增长率为 2%，对 2025 年，2030 年和 2035 年的汽车保有量进行估算，估算结果如表 5.3.2.1-1。

### b) 业务模型折算因子

根据 5.1.1 中的参数配置，在传感器信息共享业务中，每个 NR-V2X 终端是每隔 100ms 发送一个数据包，单次发送需要 0.5ms 的时长。如果不考虑重传，等效的折算因子为 200；如果考虑重传，需要把平均重传次数  $N$  考虑进来。通过系统仿真的统计，当假设最大重传次数为 4 次时，城区场景的平均重传次数为 2.18，高速场景的平均重传次数为 1.82，平均重传次数取两者的平均数，约为 2，因此业务模型的折算因子为  $200/2 = 100$ 。

### c) 汽车激活率

根据北京交通发展研究院公布的《2020 年北京交通发展年报》[5]，截止 2019 年底北京市机动车保有量达到 636.5 万辆。该年报同时给出了北京市的每日的交通出行统计情况如图所示。2019 年中心城区工作日出行总量为 3957 万人次(含步行)，其中小汽车出行量为 894 万人次。

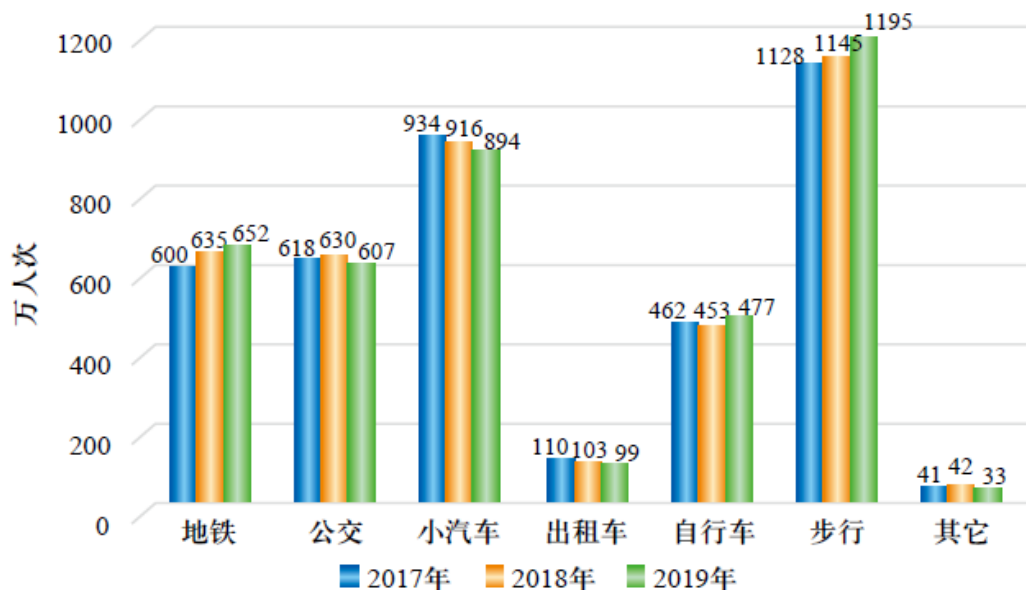


图 5.3.2.1-2 2017-2019 年中心城区工作日不同交通方式出行量变化

根据上图可以看出，地面汽车出行主要包括公交，小汽车和出租车 3 大类。报告中指出，2019 年，北京市出租汽车运营车辆为 71517 辆；2019 年城区公共汽车运营车辆 23010 辆，郊区公共汽车运营车辆 5261 辆，北京市共计 2.8 万辆。

方式	早高峰 (7:00-9:00)	晚高峰 (17:00-19:00)
	占全天比例	占全天比例
全方式出行	31.8%	21.0%
轨道交通	41.2%	37.4%
常规公交	34.5%	28.3%
小客车	39.6%	33.6%
出租车	34.9%	12.0%
班车	41.7%	25.0%
自行车	38.4%	24.9%
步行	25.4%	12.6%

图 5.3.2.1-3 交通方式早晚高峰时段出行量占全天出行量的比例

	工作日	节假日
日均行驶里程	39.8	43.0
次均行驶里程	11.4	13.2

图 5.3.2.1-4 2019 年机动车行驶里程统计表（单位：公里）

图 5.3.2.1-3 给出了早高峰各类车辆的出行比例，结合图 5.3.2.1-2 可以初步估算早高峰期实际在路的所有车辆数目。

早高峰实际出行的车辆数目 = 全天小汽车出行车辆数 \* 早高峰时段出行比例 \* 时间折算比例

其中，

- 全天小汽车出行车辆数：根据图知，2019 年小汽车日出行人次为 894 人次，假定每辆车有 2 位乘客（含司机），则出行的小汽车总数为  $894/2 = 447$ ，
- 早高峰时段出行比例：根据图可知小汽车在早高峰时的出行占全天的比例为 39.6%，
- 时间折算比例：报告中指出工作日高峰时段小汽车出行时间指数 2.79 分钟/公里。从图可知小汽车次均出行距离为 11.9 公里，其中工作日次均出行距离为 11.4 公里，节假日次均出行距离为 13.2 公里。由此可折算出早高峰的平均出行时间约为 33.2 分钟。所以时间折算比例为  $33.2/60 = 0.55$ 。

所以，早高峰实际出行的车辆数目为  $447 * 39.6\% * 0.55 = 97$  万辆。

假定公共汽车和出租车有一半在早高峰时出行，基于上述分析可以计算出北京市早高峰时期各类车辆的出行总数约为  $2.8/2 + 7/2 + 97 = 101.9$  万辆，而北京市全市汽车保有量为 636.5 万辆，由此可以近似计算出汽车激活率约为 16%。从北京早高峰的汽车激活率转化到全国的汽车激活率，考虑到不同省份的差异，采用北京早高峰的激活率已经是干扰非常严重的情况。

#### d) 设备渗透率

设备渗透率参考图 5.3.2.1-5 展示的中国汽车工程学会发布的智能网联汽车技术路线图 2.0，2025 年 HA 级（高度智能驾驶，对应 L4 级）智能网联汽车开始进入市场，2030 年 HA 级车辆在车辆销售量中占比达到 20%。每年汽车销售量约为 2800 万。不同级别的智能驾驶分类和等级定义参考图 5.3.2.1-6。



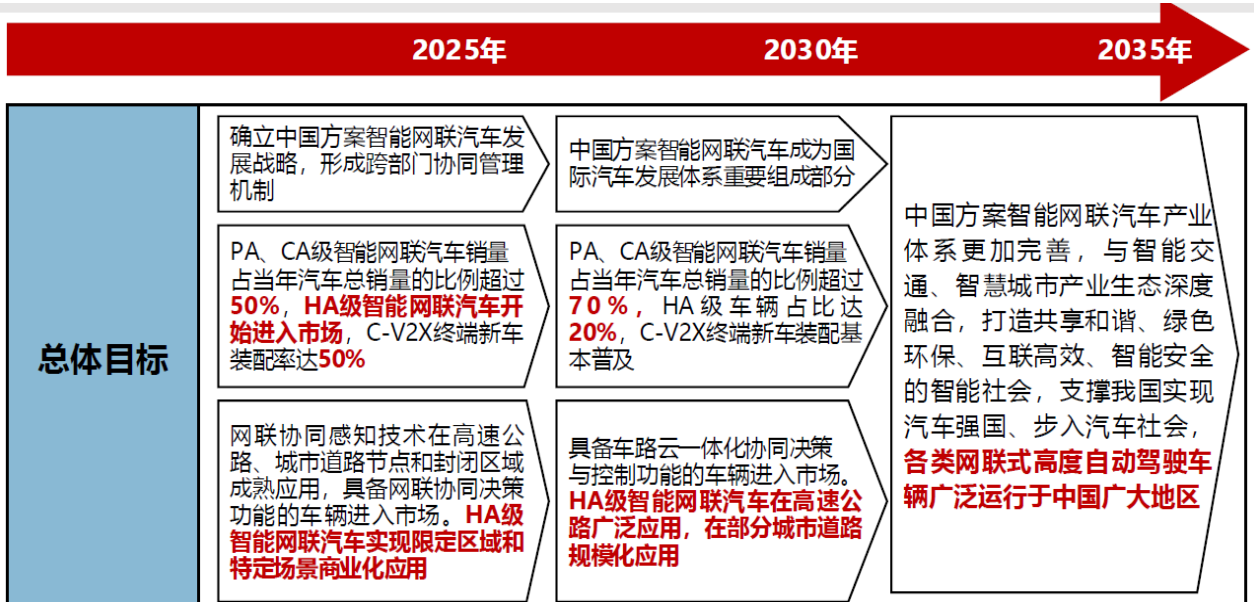


图 5.3.2.1-5 智能网联汽车技术路线图

智能化等级	等级名称	等级定义	控制	监视	失效应对	典型工况
人监控驾驶环境						
1 (DA)	驾驶辅助	系统根据环境信息执行转向和加减速中的一项操作，其他驾驶操作都由人完成。	人与系统	人	人	车道内正常行驶，高速公路无车道干涉路段，泊车工况。
2 (PA)	部分自动驾驶	系统根据环境信息执行转向和加减速操作，其他驾驶操作都由人完成。	人与系统	人	人	高速公路及市区无车道干涉路段，换道、环岛绕行、拥堵跟车等工况。
自动驾驶系统（“系统”）监控驾驶环境						
3 (CA)	有条件自动驾驶	系统完成所有驾驶操作，根据系统请求，驾驶员需要提供适当的干预。	系统	系统	人	高速公路正常行驶工况，市区无车道干涉路段。
4 (HA)	高度自动驾驶	系统完成所有驾驶操作，特定环境下系统会向驾驶员提出响应请求，驾驶员可以对系统请求不进行响应。	系统	系统	系统	高速公路全部工况及市区有车道干涉路段。
5 (FA)	完全自动驾驶	系统可以完成驾驶员能够完成的所有道路环境下的操作，不需要驾驶员介入。	系统	系统	系统	所有行驶工况。

图 5.3.2.1-6 智能网联汽车智能化等级

根据上述详细的参数说明和计算，可以计算出在任意时刻实际参与集总干扰计算的 NR-V2X 终端数目，如表 5.3.2.1-1。

表 5.3.2.1-1 集总干扰 NR-V2X 终端数目

参数	结果		
	2025	2030	2035
年份	2025	2030	2035
全国汽车保有量（亿辆）	3.10	3.43	3.78
设备渗透率	5%	20%	50%
业务激活因子	50%	50%	50%
汽车激活率	16%	16%	16%
业务模型折算因子	100	100	100
集总干扰 NR-V2X 终端数目（万辆）	1.24	5.48	15.13

### 3) 集总干扰功率计算

集总干扰功率应满足如下要求才代表两系统可以共存：

$$I_{\text{total}} = \sum_k I_k \leq I_{\text{max}}$$

上式中 $I_{\text{max}}$ 代表 FSS 空间站接收机侧所允许的最大干扰功率门限。

根据上一节关于 FSS 系统参数的假设可以知道该频段上的 FSS 同步轨道卫星其覆盖范围非常大，在这么大的区域内 NR-V2X 终端指向 FSS 空间站的仰角会有较明显的差异，对应的天线增益 $G_{\text{tx},k}$ 也会有明显差异，为使评估结果更为精确，本报告将整个覆盖范围平均划分为 4 个仰角区域（10°，30°，50°和 70°），每个区域内的所有 NR-V2X 终端采用同一个仰角，由此可以计算出集总干扰功率如下所示：

$$\begin{aligned}
 I_{\text{total}} &= \frac{N_{\text{active}}}{4} * I_{10} + \frac{N_{\text{active}}}{4} * I_{30} + \frac{N_{\text{active}}}{4} * I_{50} + \frac{N_{\text{active}}}{4} * I_{70} \\
 &= N_{\text{active}} * \left( \frac{I_{10} + I_{30} + I_{50} + I_{70}}{4} \right) = N_{\text{active}} * I_{\text{equ}}
 \end{aligned}$$

其中， $I_{10}$ 代表仰角为 10 度时计算出的 FSS 空间站接收到的单终端干扰功率，其他角度以此类推； $N_{\text{active}}$ 代表任意时刻同时发射数据的 NR-V2X 终端数目，该数值是需要实际参与集总干扰计算的 NR-V2X 终端总数； $I_{\text{equ}}$ 代表等效的单终端平均干扰功率。

基于上述公式，后续分析中就可以先计算出 $I_{\text{equ}}$ 的取值，然后再乘以 $N_{\text{active}}$ 从而确定最终的集总干扰功率。

5.3.2.2 传播模型

地空传播采用 P.619 建议书 [6] 中的传播模型。

考虑到 NR-V2X 终端高度较低，仅为 1.5 米，当仰角较低时，传播路径贴近地表，容易遭到周围建筑物等的遮挡，此时应当考虑一个地物损耗，模型参考 P.2108-0 建议书 [7] 中的 3.3 章节地空统计地物损耗模型。

NR V2X 和 FSS 空间站的传输距离根据下面公式进行计算。

$$d = \sqrt{R_E^2 \sin^2 \alpha + h_0^2 + 2 h_0 R_E - R_E \sin \alpha}$$

其中， $R_E$ 为地球半径，取值为 6378.1 公里， $h_0$ 为空间站高度， $\alpha$ 为终端天线仰角。

5.3.2.3 分析结果

根据前述章节给出的参数假设及共存分析方法，可以计算出不同仰角的单个 NR-V2X 终端产生的干扰功率。

表 5.3.2.3-1 单个 NR-V2X 终端产生的干扰功率总结

参数	单位	NR-V2X 终端天线仰角			
		10°	30°	50°	70°
NR-V2X 终端发射功率	dBm	23	23	23	23
NR-V2X 终端功率回退（16QAM） <sup>1</sup>	dB	2.5	2.5	2.5	2.5
NR-V2X 终端天线增益 <sup>2</sup>	dB <sub>i</sub>	2.6	-0.7	-7.3	-13.7
NR-V2X 系统带宽	MHz	40	40	40	40
传输距离	km	40798	38825	37292	36328
路径损耗	dB	200.1	199.6	199.3	199.1
地物损耗	dB	13.3	4.2	1.6	0.5
大气损耗	dB	0.583	0.284	0.186	0.151
FSS 空间站天线增益	dB <sub>i</sub>	24.8	24.8	24.8	24.8
极化隔离	dB	3	3	3	3
FSS 空间站接收到的干扰功率	dBm/MHz	-185.08	-178.55	-182.11	-187.14
备注：					
<sup>1</sup> 采用 64QAM 时，功率回退为 4.5dB，NR-V2X 对 FSS 空间站产生的干扰功率会更小。					
<sup>2</sup> NR-V2X 终端在水平面的天线增益为 3dB，垂直面的天线方向图参考 ITU-R F.1336 建议书。					

集总干扰功率计算结果如下表所示：

表 5.3.2.3-2 集总干扰计算结果

参数	单位	结果		
等效单终端平均干扰功率	dBm/MHz	-183.22	-183.22	-183.22
集总干扰终端数目	万辆	1.24	5.48	15.13
集总干扰总功率	dBm/MHz	-142.3	-135.8	-131.4
FSS 空间站允许的最大干扰功率	dBm/MHz	-120.36	-120.36	-120.36
是否可以共存	-	是	是	是

从表格中的分析数据可以看出，到 2035 年，NR-V2X 对 FSS 空间站产生的集总干扰总功率远小于 FSS 空间站允许的最大干扰功率，两系统可以同频共存工作。

5.3.3 FSS 的地球站干扰 NR-V2X

5.3.3.1 分析方法及拓扑结构

该场景的干扰计算通过做单点确定性计算来进行分析，示意图如下所示：

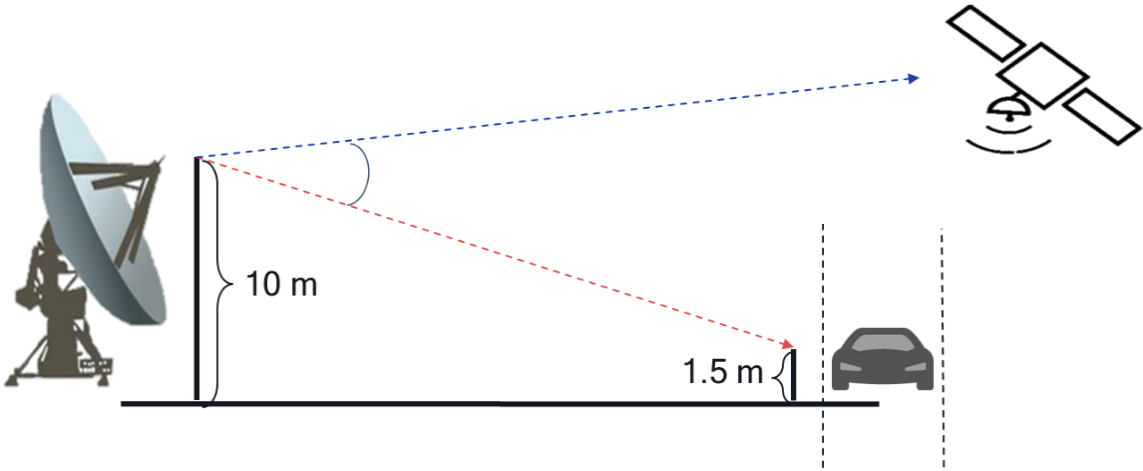


图 5.3.3.1-1 FSS 地球站干扰 NR-V2X 示意图

如图 5.3.3.1-1 所示，干扰最为严重的场景应当是 FSS 地球站在水平方向上正对着行驶中的车辆（即 FSS 地球站水平方向与道路方向成直角）。在计算 FSS 地球站的天线增益时，可以考虑不同的仰角。干扰计算的基本公式如下所示：

$$I_{received} = P_{tx}^{FSS} + G_{tx}^{FSS}(\varphi) - PL(d) + G_{rx}^{NR-V2X}(\theta) \leq I_{max}$$

基于上述公式可以计算出所需的空空间隔离距离为：

$$d \geq PL^{-1}(P_{tx}^{FSS} + G_{tx}^{FSS}(\varphi) + G_{rx}^{NR-V2X}(\theta) - I_{max})$$

上述公式中， $\varphi$  为 FSS 地球站发射机的离轴角（指干扰链路方向与 FSS 地球站有用信号链路方向之间的夹角）。根据前面的说明该角度应该等于 FSS 地球站的仰角加上由于高度差造成的下倾角。 $\theta$  为 NR-V2X 接收机一侧的垂直方向角，应该等于收发信机两侧的高度差造成的下倾角。

根据上述的计算公式容易看出，当隔离距离发生变化时，实际上 $\varphi$ 和 $\theta$ 也是变化的，这是一个迭代计算的过程。考虑到简化计算和评估最恶劣的干扰场景，NR-V2X 终端一侧的天线增益统一采用最大天线增益，而 FSS 地球接收站一侧的离轴角近似等于仰角。

### 5.3.3.2 传播模型

考虑到 FSS 地球站和 NR-V2X 终端都位于地球表面，且频率为 5~6GHz 之间，干扰计算采用 ITU-R P.452-16 传播模型 [8]。地物损耗模型参考 P.2108-0 建议书的 3.2 章节地面路径的统计地物损耗模型。

需要指出的是，P.452 传播模型可以导入实际地形数据，为模拟实际地物环境条件下的真实干扰情况，在条件允许情况下可采用实际地形数据计算传播损耗。在本章节分析中，考虑到分析的一般性，地形采用光滑球面进行分析，因此分析的干扰影响比实际的干扰情况会偏大。

### 5.3.3.3 分析结果

表 5.3.3.3-1 FSS 地球站干扰 NR-V2X（同频）

下倾角	单位	10°	30°	50°	70°
FSS 地球站发射功率	dBm/MHz	37	37	37	37
FSS 地球站天线增益	dBi	7	-4.9	-10	-10
NR-V2X 接收天线增益	dBi	3	3	3	3
馈线损耗	dB	1	1	1	1
极化隔离	dB	3	3	3	3
NR-V2X 允许的最大干扰功率	dBm/MHz	-112.76	-112.76	-112.76	-112.76
所需的路损	dB	158.76	146.86	141.76	141.76
隔离距离	km	5.8	2.0	1.1	1.1

### 5.3.4 共存性能分析

通过确定性分析，本章节分析了 NR-V2X 对 FSS 卫星空间站的集总干扰，以及 FSS 地球站对 NR-V2X 的干扰。

截止到 2035 年，NR-V2X 终端的集总干扰仍远小于 FSS 卫星空间站的允许的最大干扰水平，有约 11dB 的干扰余量。同时，在进行 NR-V2X 终端的集总干扰进行估计时，汽车的激活率估计比实际情况偏大；在传播损耗的计算里，很多额外的损耗没有考虑，比如电离层的闪烁损耗等。因此，集总干扰的估计会比实际 NR-V2X 造成的干扰偏大。因此，NR-V2X 与 FSS 卫星空间站可以在同频和邻频共存。

FSS 地球站与 NR-V2X 的同频部署场景所需的隔离距离仅为 1.2~5.8km。在进行隔离距离计算时，一方面并未考虑 NR-V2X 接收机侧天线增益的影响（统一采用最大天线增益），另一方面，传播损耗里没有考虑实际的地形带来的传输损耗，只考虑了完全平坦地形的传输损耗。因此，实际所需的隔离距离比表中给出的更小，两系统具有较好的共存可行性。

## 5.4 NR-V2X 与 FS 的共存

### 5.4.1 系统参数

#### 1) NR-V2X 系统参数

NR-V2X 系统参数参考 5.1.1 章节。

#### 2) FS 系统参数

综合考虑 WP5C 发送给 WP5D 关于 WRC 23 议题 1.2 的联络函（5D/583）和 ITU-R F.2326 建议书，系统参数取值如表 5.4.1-1。

表 5.4.1-1 FS 系统参数

参数	单位	Type 1	Type 2
频率范围	GHz	5.925-6.425	
信道间隔与接收噪声带宽	MHz	40	29.65
发送功率	dBW	-4	-3
馈线/多路转换器损耗	dB	3.4	1.3
天线增益	dBi	38	45
天线方向图	-	Rec. ITU-R F.1245	Rec. ITU-R F.1245
天线口径	m	2.4	2.4
天线高度	m	55	55
典型接收机噪声系数	dB	5	4
EIRP	dBW	30.6	40.7
保护准则	-	I/N = -10	

## 5.4.2 NR-V2X 干扰 FS 接收机

### 5.4.2.1 分析方法和拓扑结构

NR-V2X 干扰 FS 的拓扑结构包含城区和高速两种场景，具体如图 5.4.2.1-1 和图 5.4.2.1-2 所示：

- NR-V2X 干扰 FS 接收机（城区场景）

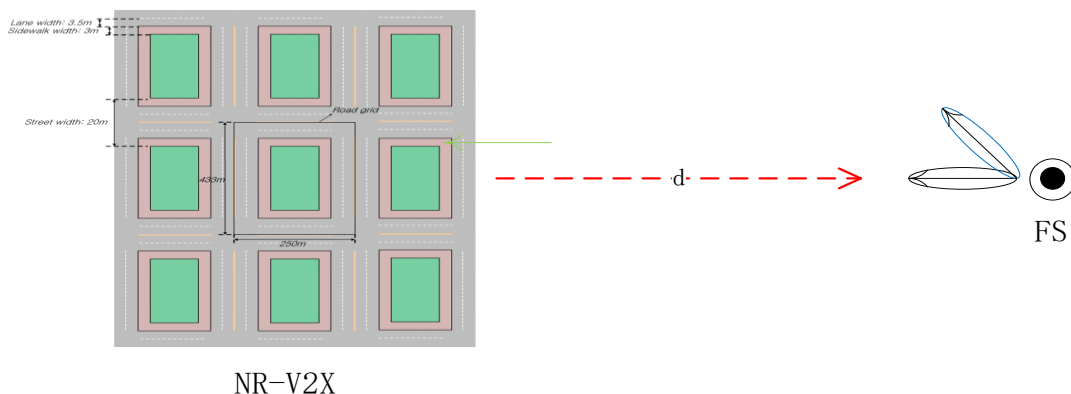


图 5.4.2.1-1 NR-V2X 干扰 FS 接收机（城区场景）

如上图所述，所有 NR-V2X 终端同时干扰 FS 接收机，适当调整 FS 接收机天线角度可以有效降低干扰，在仿真中，FS 天线的角度选取 0 度，10 度和 30 度三个偏移角度。

- NR-V2X 干扰 FS 接收机（高速场景）

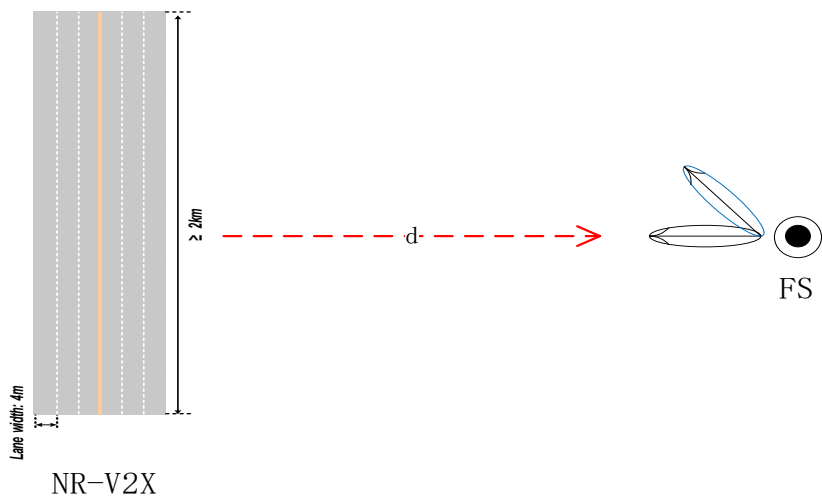


图 5.4.2.1-2 NR-V2X 干扰 FS 接收机（高速场景）

如上图所述，所有 NR-V2X 终端同时干扰 FS 接收机，适当调整 FS 接收机天线角度可以有效降低干扰，在仿真中，FS 天线的角度选取 0 度，10 度和 30 度三个偏移角度。



### 5.4.2.2 传播模型

采用 P452 传播模型，具体设置参见 5.3.2.2 节相关说明。考虑到 NR-V2X 设备高度较低容易受到周边地物的影响，因此还需要考虑建议书 ITU-R P.2108 中定义的地物损耗。

### 5.4.2.3 分析结果

- NR-V2X 干扰 FS 接收机（城区场景）

表 5.4.2.3-1 NR-V2X 干扰 FS 接收机结果汇总（城区场景）

隔离距离（km）	0 度偏移		10 度偏移		30 度偏移	
	Type1	Type2	Type1	Type2	Type1	Type2
发送功率 23dBm	19.2	28	4	4.2	1	1.2
发送功率有 2.5dBm 功率回退	17	25.4	3.8	4	0.6	1
发送功率有 4.5dBm 功率回退	10.4	24.2	3.6	4	0.4	0.8

- NR-V2X 干扰 FS 接收机（高速场景）

表 5.4.2.3-2 NR-V2X 干扰 FS 接收机结果汇总（高速场景）

隔离距离（km）	0 度偏移		10 度偏移		30 度偏移	
	Type1	Type2	Type1	Type2	Type1	Type2
发送功率 23dBm	10.4	23.6	5.4	6	1.4	1.8
发送功率有 2.5dBm 功率回退	3.6	21.4	0.4	6	0.4	1.8
发送功率有 4.5dBm 功率回退	0.4	19.6	0.4	5.8	0.3	0.4

5.4.3 FS 发射机干扰 NR-V2X

5.4.3.1 分析方法和拓扑结构

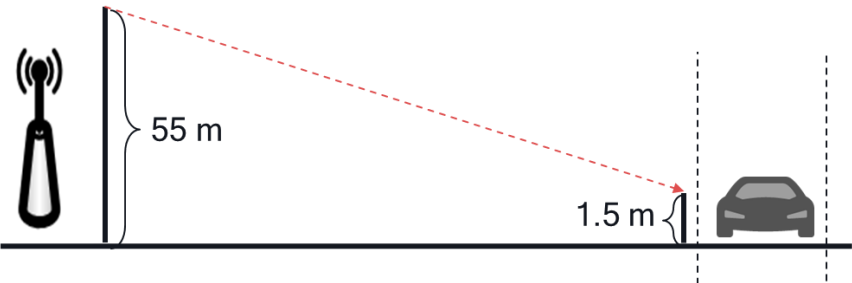


图 5.4.3.1-1 FS 发射机干扰 NR-V2X 示意图

FS 干扰 NR-V2X 仅需要考虑单点确定性计算即可，基本拓扑结构如上图所示，考虑干扰最为严重的情况，FS 发射机在水平方向上应该指向 NR-V2X 终端，即 FS 发射机水平方向与道路方向成直角。

5.4.3.2 传播模型

采用 P452 传播模型，具体设置参见 5.3.2.2 节相关说明。考虑到 NR-V2X 设备高度较低容易受到周边地物的影响，因此还需要考虑建议书 ITU-R P.2108 中定义的地物损耗。

5.4.3.3 分析结果

表 5.4.3.3-1 FS 发射机干扰 NR-V2X（同频）

隔离距离 (km)	0 度偏移		10 度偏移		30 度偏移	
	Type1	Type2	Type1	Type2	Type1	Type2
	9	21.2	0.4	0.6	0.3	0.3

#### 5.4.4 共存性能分析

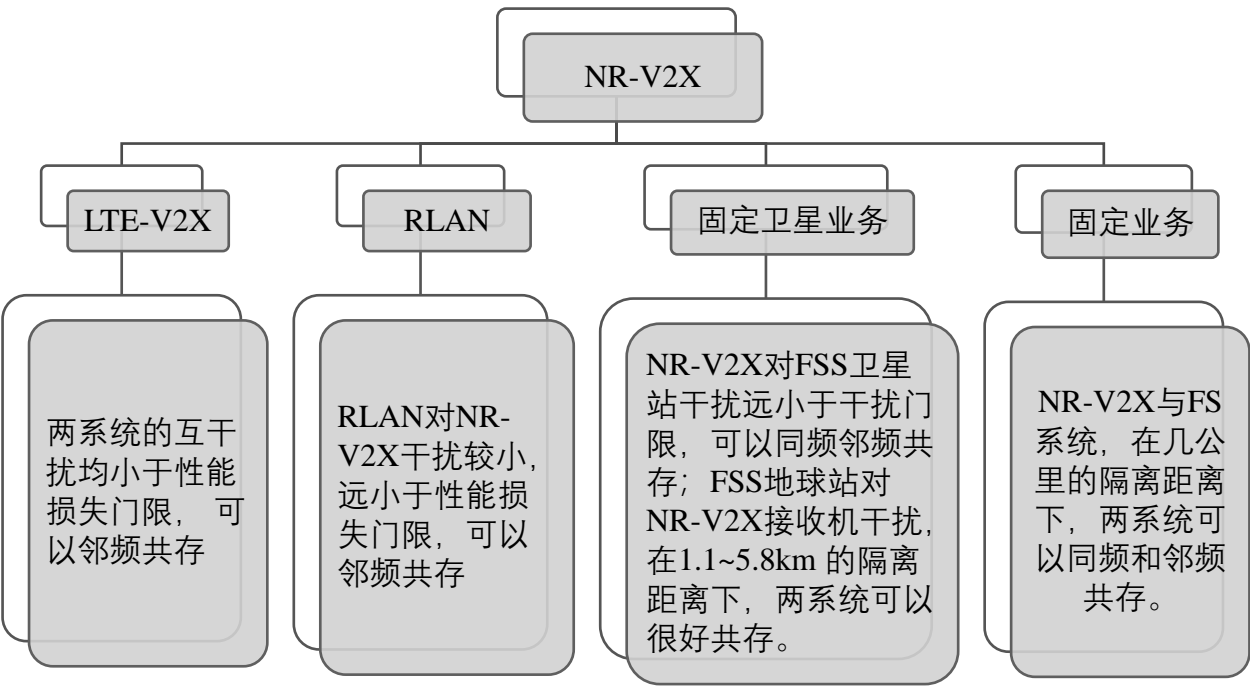
- NR-V2X 干扰 FS 接收机时-城区场景
  - 当 NR-V2X 采用 23dBm 时, 所需的隔离距离约为 1-28km, 如果考虑 FS 接收机天线偏移一定的角度, 所需的隔离距离约为 1-4.2km;
  - 当 NR-V2X 采用 23dBm 的峰值 EIRP 且有 2.5dB 的功率回退时, 所需的隔离距离约为 0.6-25.4km, 如果考虑 FS 接收机天线偏移一定的角度, 所需的隔离距离约为 0.6-4.2km;
  - 当 NR-V2X 采用 23dBm 的峰值 EIRP 且有 4.5dB 的功率回退时, 所需的隔离距离约为 0.4-24.2km, 如果考虑 FS 接收机天线偏移一定的角度所需的隔离距离约为 0.4-4km
- NR-V2X 干扰 FS 接收机时-高速场景
  - 当 NR-V2X 采用 23dBm 的峰值 EIRP 时, 所需的隔离距离约为 1.4-23.6km, 如果考虑 FS 接收机天线偏移一定的角度, 所需的隔离距离约为 1.4-6km;
  - 当 NR-V2X 采用 23dBm 的峰值 EIRP 且有 2.5dB 的功率回退时, 所需的隔离距离约为 0.4-21.4km, 如果考虑 FS 接收机天线偏移一定的角度, 所需的隔离距离约为 0.4-6km
  - 当 NR-V2X 采用 23dBm 的峰值 EIRP 且有 4.5dB 的功率回退时, 所需的隔离距离约为 0.3-19.6km, 如果考虑 FS 接收机天线偏移一定的角度, 所需的隔离距离约为 0.3-5.8km
- FS 干扰 NR-V2X 接收机时
  - 当 FS 偏移 0 度时, 所需的隔离距离约为 9-21km; 当 FS 偏移 10 度时, 所需的隔离距离约为 0.4-0.6km; 当 FS 偏移 30 度时, 所需的隔离距离仅为 0.3km。

需要特别注意的是, 上述仿真中传播模型 P.452 均考虑的是理想的光滑球面模型, 实际的地形起伏因素未能在仿真中得以体现, 如果考虑实际地形起伏的影响, 所需的隔离距离将会有不同程度的减小。

综合上述结果可以看出, 如果考虑 FS 天线偏移一定的角度, FS 与 NR-V2X 系统共存所需的隔离距离均为几 km 量级, 进一步的如果考虑实际的地形起伏对仿真结果的影响, 隔离距离将会进一步减小, 因此两系统具有同频共存的可行性。

## 6 结论及建议

5850 MHz~5925MHz 作为 ITU-R 全球范围以及区域性融合的 ITS 频谱，可以为 C-V2X 和相关 ITS 业务发展带来规模经济效益。为了支撑相关频谱研究，以适应汽车行业采用 C-V2X 推进自动驾驶发展的需求，本白皮书结合 NR-V2X 的技术标准特性、频率需求、部署场景、已有 5.9GHz 频率分配和使用情况，针对 NR-V2X 在 5.9 GHz 可能的应用开展了同频和邻频的共存兼容性研究。研究的结论如下：



根据上述基于蒙特卡洛仿真和确定性分析计算等得到的研究结果，NR-V2X 系统在 5.9GHz 可以与现有同频业务和邻频业务共存，在兼容性方面具有频率使用的可行性。

建议我国政府充分考虑汽车和交通行业的自动驾驶产业发展需求，本着“技术发展、频率先行”的原则，尽早制定 5.9GHz NR-V2X 系统频率规划的相关计划，引导智能网联汽车和自动驾驶产业发展方向，为产业铺好发展道路。

## 参考文献

- [1]. 中国汽车工程学会, 《智能网联汽车技术路线图 2.0》
- [2]. 汽车标准委员会智能网联汽车分标准委员会, 《基于网联技术的汽车安全预警类应用场景标准化需求研究报告》
- [3]. CCSA SR239-2018 智能交通车车/车路主动安全应用的频率需求和相关干扰共存研究
- [4]. ITU-R S.465-6 建议书 (01/2010), 用于 2 至 31 GHz 频率范围协调和干扰评估的卫星固定业务地球站天线的参考辐射方向图
- [5]. 2020 北京市交通发展年度报告, 北京交通发展研究院, 2020 年 7 月
- [6]. ITU-R P.619-4 建议书 (08/2019) 评估空间和地球表面台站之间 干扰所需的传播数据
- [7]. ITU-R P.2108-0 建议书 (06/2017) 地物损耗的预测
- [8]. ITU-R P.452-16 建议书 (07/2015) 评估在频率高于约 0.1 GHz 时 地球表面上电台之间 干扰的预测程序
- [9]. ITU-R F.1336-5 建议书 (01/2019) 在 400 MHz 到约 70 GHz 频率范围内用于共用研究的固定和移动业务的全向、扇形和其他天线的参考辐射方向图
- [10]. 未来移动通信论坛白皮书, 《自动驾驶 5G NR V2X 直联通信频谱需求》
- [11]. CCSA TC5 WG8#111-007 B-202059012\_5G NR-V2X PC5 直联通信候选频段和兼容性研究

## 附录： 术语和缩略语

3GPP	The 3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴项目
5GAA	5G Automotive Association	5G 汽车协会
ITS	Intelligent Transportation System	智能交通系统
C-ITS	China ITS industry Alliance	中国智能交通产业联盟
NTCAS	National Technical Committee of Auto Standardization	全国汽车标准化技术委员会
SAE	Society of Automotive Engineers	美国汽车工程师协会
V2I	Vehicle to Infrastructure	车到基础设施
V2N	Vehicle to Network	车到网络
V2P	Vehicle to Pedestrian	车到人
V2V	Vehicle to Vehicle	车到车
RSU	Roadside Unit	路侧设施
VRU	Vulnerable Road Unit	道路弱势用户
ADAS	Advanced Driver-Assistance System	先进驾驶辅助技术
BSM	Basic Safety Message	基本安全消息
RLAN	Radio Local Access Network	无线接入网络
FSS	Fixed Satellite Service	固定卫星业务
FS	Fixed Service	固定业务
PRR	Packet Reception Ratio	数据包接收率

## 致谢

诚挚感谢如下人员对本白皮书做出的贡献：

总编辑：

王婷、高路

贡献单位与人员：

高通无线通信技术（中国）有限公司

王婷、高路、李俨、殷悦、陈书平

大唐电信科技产业集团

赵锐

OPPO 广东移动通信有限公司

郭志瑜

欢迎更多公司支持！

【FuTURE 论坛致力于先进技术和应用的研究，其研究内容相对超前，因而不可避免在某些技术路线和方法上存在争议。论坛鼓励各种观点的充分表述和广泛交流。论坛所发布白皮书中的内容代表参与单位的一致意见，获得论坛多数成员的支持成为共识，进而成为论坛的观点，但不一定代表论坛所有成员的共识。论坛欢迎各界专家学者踊跃参加 FuTURE 后续各工作组会议及交流研讨活动，诚邀各位积极参与 FuTURE 系列白皮书撰写工作。】