

未来移动通信论坛

会议名称：联合车联网工作组会议

会议地点：北京

会议时间：2021 年 6 月 3 日

题目：5G NR-V2X PC5 直连通信候选频段和兼容性研究-FSS 和 FS

来源：OPPO 广东移动通信有限公司、高通无线通信技术（中国）有限公司

目的：讨论并采纳

联系人：郭志瑜，王婷，高路

邮箱：guozhiyu@oppo.com; tiw@qti.qualcomm.com; lgao@qti.qualcomm.com

附件

5G NR-V2X PC5 直连通信候选频段和兼容性研究

1 引言

关于用于 V2X 应用的频谱，可分为“基本安全应用”和“先进汽车应用”两类频谱。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 R16 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 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，需要结合频率需求、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，以支持近期和中期的 C-V2X 技术演进和自动驾驶频率需求。

如果未来发展出在密集交通密度下需要超高数据速率的先进汽车应用，则还需要研究新的候选频率范围。对于其他可能的候选频段，也可以开展调研，考虑重新规划的可能性，建议结合已有频率分配和使用情况开展相应的同频和邻频共存与兼容性研究，用来支持长期的 C-V2X 技术演进和远期汽车行业超高数据速率的先进应用需求。

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。

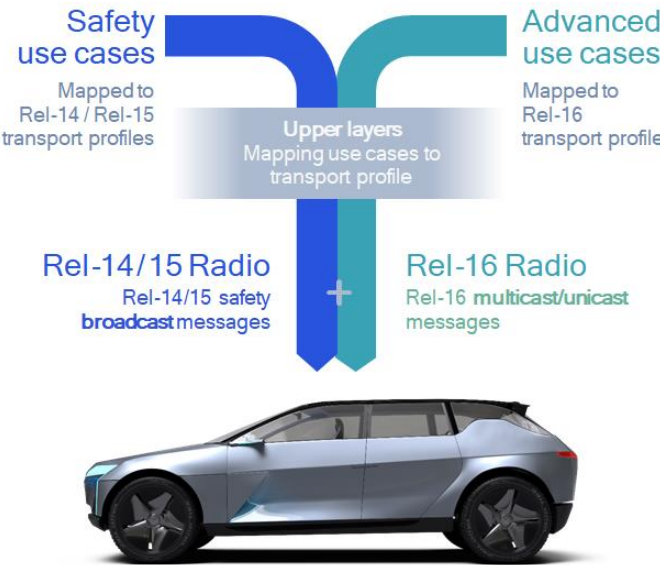


图 2-1 NR V2X 与 LTE V2X 设备内共存

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 增强

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 关键进行进行介绍。本研究报告主要集中在 NR V2X PC5 直连通信候选频段和兼容性研究。

3 NR-V2X 候选频段分析

在 CCSA 的 NR-V2X 直连通信频谱需求研究报告，以及车载信息联盟与未来移动通信论坛 V2X 联合工作组已发布白皮书中，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。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。

但是 5.9 GHz 频率仅有 75MHz，因此用这个频率范围可能不足以支持高数据速率的应用。因此，全球范围还需要研究新的候选频率范围。

4 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。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。

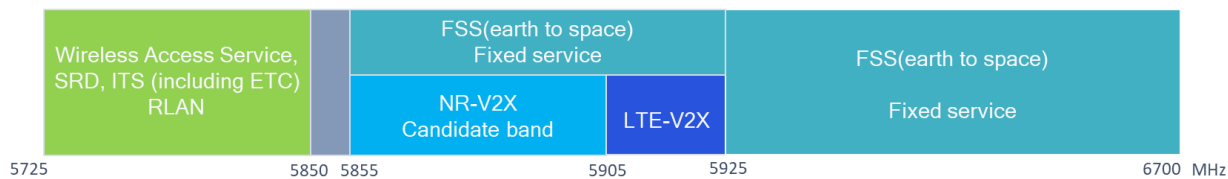


图 4-1 5.9GHz 频谱分配情况

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）同频和临频共存
- 4) NR-V2X 和固定业务（FS）同频和临频共存

4.1 NR-V2X 与 LTE-V2X 的共存

4.1.1 系统参数

1) NR-V2X 系统参数

表 4.1.1-1 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, 全向天线, 3 dBi 天线增益
发送功率	23 dBm (峰值 EIRP) 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 次出传和最多 3 次 HARQ 重传
DMRS symbol	[4, 10]
带内杂散	{W, X, Y, Z} = {3, 6, 3, 3}
性能指标	Tx-Rx distance vs. PRR (Packet Reception Ratio) 城区: 通信距离 60 米处满足 PRR 不小于 95% 要求 高速: 通信距离 200 米处满足 PRR 不小于 95% 要求

2) LTE-V2X 系统参数

表 4.1.1-2 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 2dB 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}
性能指标	Tx-Rx distance vs. PRR (Packet Reception Ratio) 城区: 通信距离 50 米处满足 PRR 不小于 95% 要求 高速: 通信距离 320 米处满足 PRR 不小于 80% 要求

3) 仿真拓扑

- 高速场景: 双向六车道

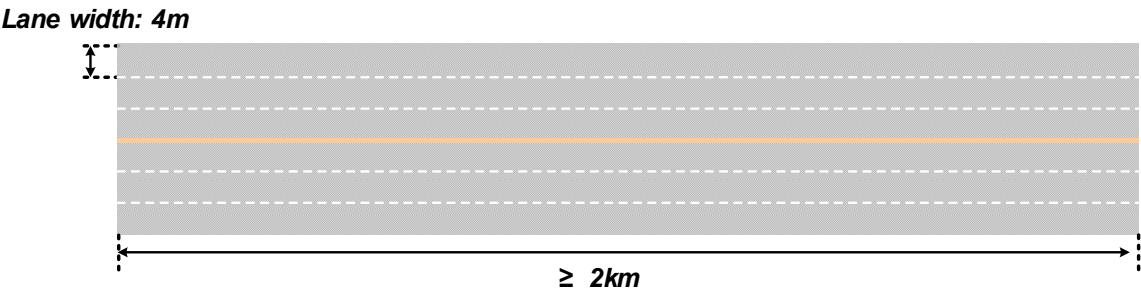


图 4.1.1-1 高速场景拓扑

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

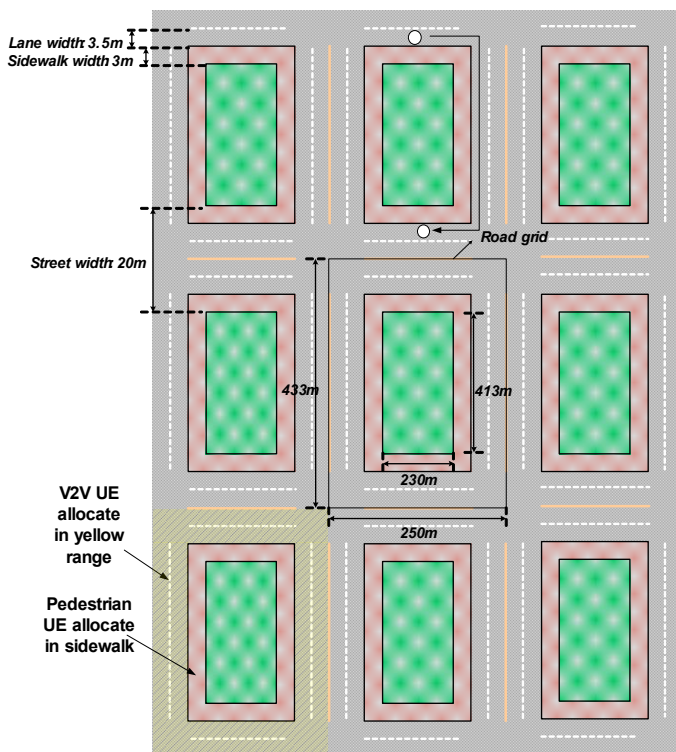


图 4.1.1-2 共存仿真城区拓扑图

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。

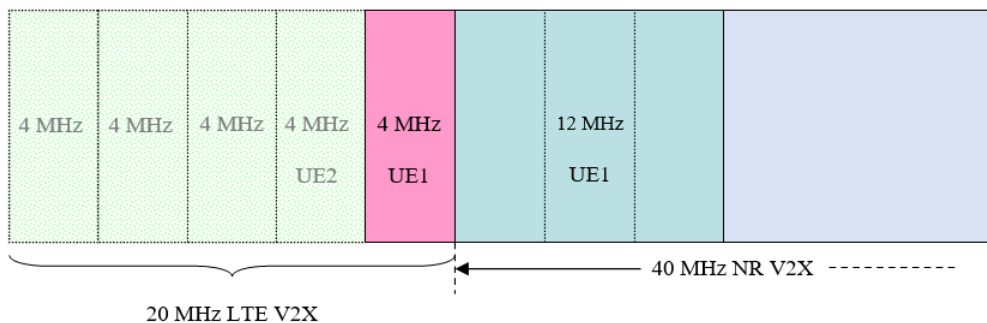


图 4.1.1-3 ACIR 计算示意图

- **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 个临近 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。

4.1.2 LTE-V2X 干扰 NR-V2X：高速场景

4.1.3 LTE-V2X 干扰 NR-V2X：城区场景

4.1.4 NR-V2X 干扰 LTE-V2X：高速场景

4.1.5 NR-V2X 干扰 LTE-V2X：城区场景

待更新。

4.1.6 分析结果

4.2 NR-V2X 与 RLAN 的共存

4.2.1 系统参数

1) NR-V2X 系统参数

NR-V2X 系统参数参考 4.1.1 章节。

2) RLAN 系统参数

表 4.2.1-1 RLAN 系统参数

系统参数	数值
中心载频	5.8 GHz
带宽 ¹	20 MHz, 40 MHz, 80 MHz
天线模型	全向天线 室外: 5 dBi 天线增益 车内: 0 dBi 天线增益
AP 传导功率 ²	20 dBm
业务模型 ³	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。在临频共存分析时, 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 4.2.1-1 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 4.2.1-2。

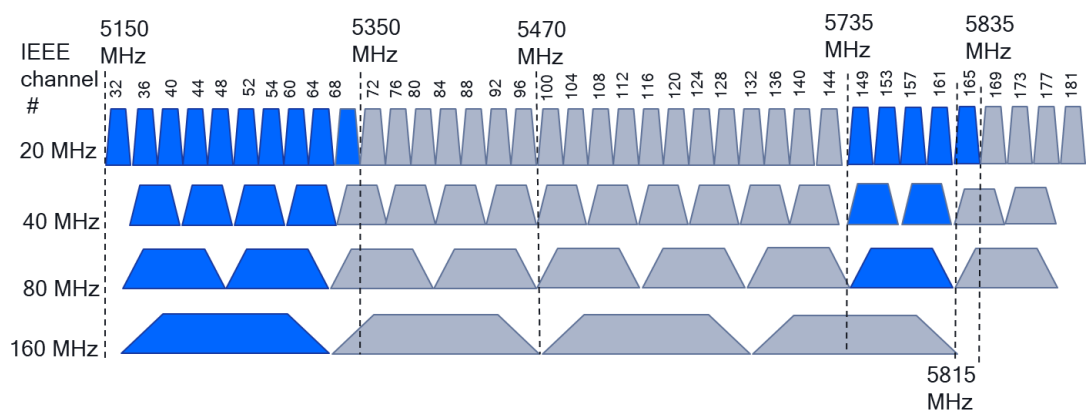


图 4.2.1-1 RLAN 信道划分示意图

表 4.2.1-2 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 4.1.1 章节。

4) ACIR 的计算

4.2.2 分析结果

4.3 NR-V2X 与 FSS 的共存

4.3.1 系统参数

1) NR-V2X 系统参数

NR-V2X 系统参数参考 4.1.1 章节。

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。进行干扰共存时，先考虑了同频分析。假如同频可以满足共存的条件，临频时引入了 ACIR，也同样能够满足共存条件。

表 4.3.1-1 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
波束带宽	200 MHz
波束覆盖面积	2000 万平方公里
噪声温度	400 k
保护要求 (I/N)	-12.2 dB
允许的最大干扰功率	-124.8 dBm/MHz

表 4.3.1-2 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
发射功率	40 dBm
馈线损耗	1 dB
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
最小仰角	20°

FSS 地球站天线模型采用 ITU-R S.465-6 建议书的相关规定，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 φ 为干扰方向和地球站主波束轴方向的空间夹角，即离轴角； φ_{\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， λ 为波长。

参考 WRC 23 议题 1.2 的最新输入参数（4A/246），最终结果还需等待 6 月 WP5D 会议后确定。



R19-WP4A-C-02
46!N42!MSW-E.d

4.3.2 NR-V2X 干扰 FSS 的卫星空间站

4.3.2.1 分析方法及拓扑结构

参考 ITU-R R12-JTG4567-C-0715!N19 附件 3 的相关说明，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：

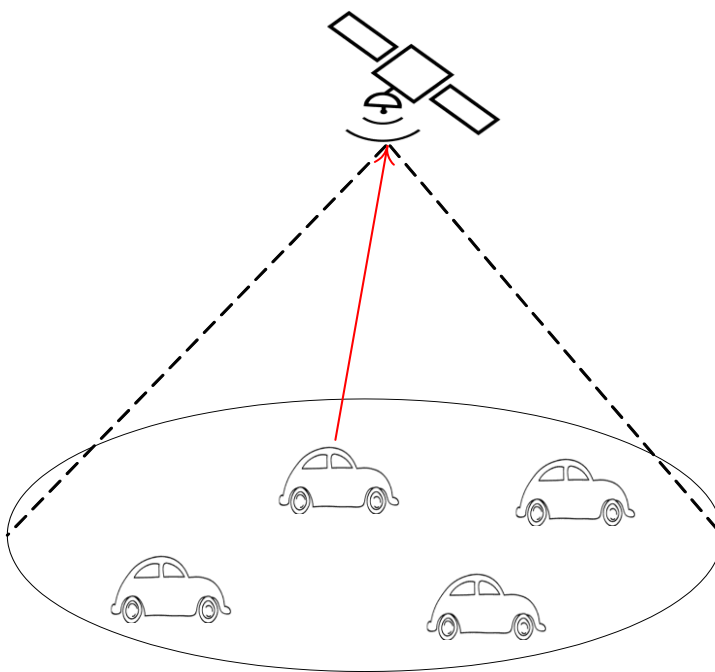


图 4.3.2.1-1 NR-V2X 终端对 FSS 空间站的集总干扰拓扑结构示意图

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，即使在中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。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。

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_{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，设备渗透率的取值为 TBD
- 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，取值为 TBD
- 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。

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：

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

上式中 k 是一个业务相关的折算比例，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 k。

根据 4.1.1 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，等效的激活因子 $k = 200$ ；如果考虑重传，需要把平均重传次数 N 考虑进来，等效的激活因子 $k = 200/N$ 。根据系统仿真，最大重传次数为 4，系统激活率为 50% 时，平均重传次数约为 2 次。

了解了汽车保有量、设备渗透率和折算比例，下面讨论一下汽车激活率如何计算。

根据北京交通发展研究院公布的《2020 年北京交通发展年报》，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。

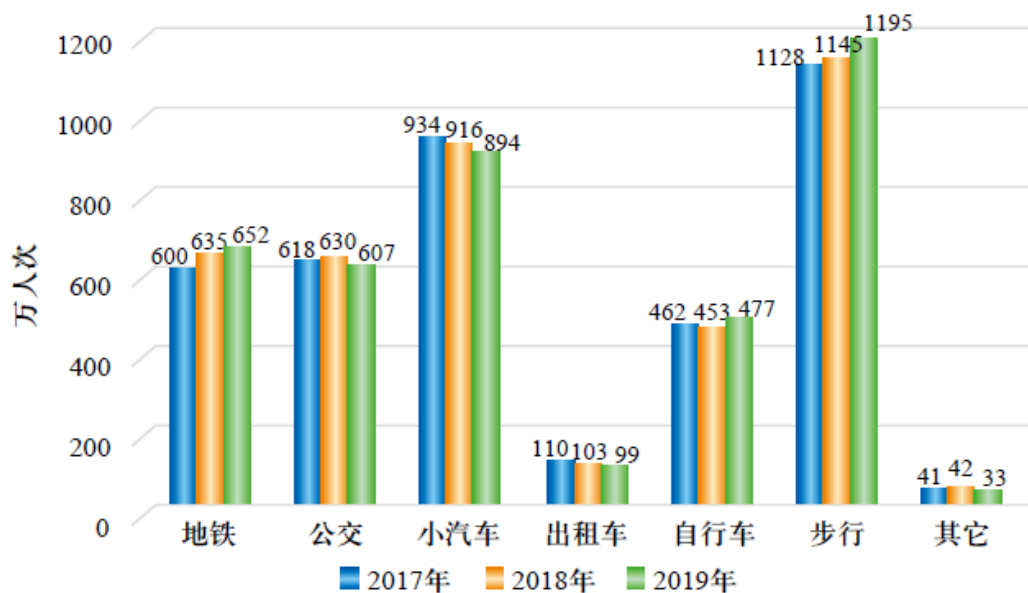


图 4.3.2.1-2 2017-2019 年中心城区工作日不同交通方式出行量变化

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 4.3.2.1-3 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 4.3.2.1-4 2019 年机动车行驶里程统计表（单位：公里）

图 4.3.2.1-3 给出了早高峰各类车辆的出行比例，结合图 4.3.2.1-2 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激活率约为 16%。从北京早高峰的激活率转化到全国的激活率，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。

NR-V2X 计划在 2025 年全面商用，考虑每年机动车增长率为 2%，到 2027 年和 2030 年的汽车保有量的估计值如表 4.3.2.1-1。

根据上述参数说明，可以计算出在任意时刻实际参与集总干扰计算的 NR-V2X 终端数目为：

表 4.3.2.1-1 集总干扰 NR-V2X 终端数目

参数	结果			
年份	2020	2025	2027	2030
全国汽车保有量（亿辆）	2.81	3.10	3.23	3.36
设备渗透率	-	5%	10%	20%
业务激活因子	-	50%	50%	50%
汽车激活率	-	16%	16%	16%
业务折算比例 k	-	100	100	100
集总干扰 NR-V2X 终端数目（万辆）				

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_{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_{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_{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_{equ} 的取值，然后再乘以 N_{active} 从而确定最终的集总干扰功率。

4.3.2.2 传播模型

地空传播采用 P.619 建议书中的模型。

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 建议书中的 3.3 章节地空统计地物损耗模型。

4.3.2.3 分析结果

根据前述章节给出的参数假设及共存分析方法，可以计算出单个 NR-V2X 终端产生的干扰功率如下：

表 4.3.2.3-1 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	21	21	21	21
NR-V2X 终端天线增益	dBi	0	0	0	0
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	199.6	199.3	199.1
地物损耗	dB	20	20	0	0
大气损耗	dB	0.583	0.284	0.186	0.151
FSS 空间站天线增益	dBi	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				

集总干扰功率计算结果如下表所示：

表 4.3.2.3-2 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			
集总干扰终端数目	万辆			
集总干扰总功率	dBm/MHz			
FSS 空间站允许的最大干扰功率	dBm/MHz	-124.8	-124.8	-124.8
是否可以共存				

4.3.3 FSS 的地球站干扰 NR-V2X

4.3.3.1 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：

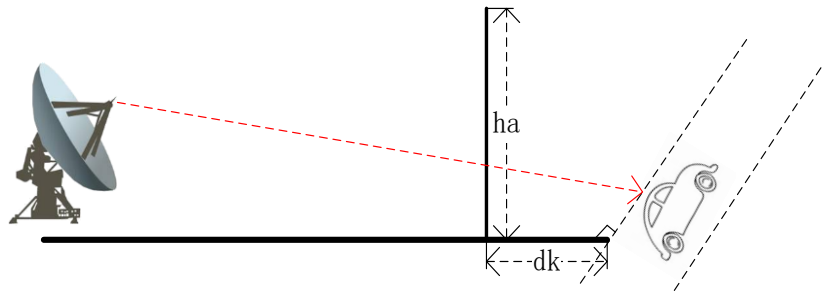


图 4.3.3.1-1 FSS 地球站干扰 NR-V2X 示意图

如上图所示，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， φ 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。 θ 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 φ 和 θ 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。

4.3.3.2 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。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。该模型的总体预测模型如下：

$$L_b = -5 \log(10^{-0.2L_{bs}} + 10^{-0.2L_{bam}})$$

其中：

- L_{bs} 代表对流层散射损耗
- L_{bam} 是由视距、大气波导/层反射、绕射等几种传播机理共同作用所产生的基本传输损耗

4.3.3.3 分析结果

表 4.3.3.3-1 FSS 地球站干扰 NR-V2X（同频）

下倾角	10°	30°	50°	70°
FSS 地球站发射功率（dBm/MHz）	36	36	36	36
FSS 地球站天线增益（dBi）	7	-5	-10	-10
NR-V2X 接收天线增益（dBi）	3	3	3	3
NR-V2X 允许的最大干扰功率（dBm/MHz）	-111	-111	-111	-111
所需的路损（dB）				
隔离距离（km）				

综上所述，两系统同频部署场景下所需的隔离距离仅为 1.73-3.5km。此外注意到上述计算中并未考虑 NR-V2X 接收机侧天线增益的影响（统一采用最大天线增益），实际所需的隔离距离可能比上表中给出的更小，因此两系统具有较好的共存可行性。

由于车处于移动状态，对车的干扰时间是短暂的，因此隔离距离主要是适用于对 RSU 的部署规划。

4.4 NR-V2X 与 FS 的共存

4.4.1 系统参数

1) NR-V2X 系统参数

NR-V2X 系统参数参考 4.1.1 章节。

2) FS 系统参数

FS 系统参数列在表 4.4.1-1 中，参考 ITU-R 的 F.758-7 和 F.2326-0 建议书。

表 4.4.1-1 FS 系统参数

频率范围 (GHz)	5.925-6.425	
	Type 1	Type 2
参考	Rec. ITU-R F.758-5/ F.2326	
信道间隔与接收噪声带宽 (MHz)	40	29.65
Tx输出功率范围 (dBW)	-4	-3
馈线/多路转换器损耗范围 (dB)	3.4	1.3
天线增益范围 (dBi)	38	45
天线方向图	Rec. ITU-R F.699	Rec. ITU-R F.699
天线高度 (m)	55	55
典型接收机噪声系数 (dB)	5	4
接收机选择掩膜	Table 4, Fig.6	Table 4, Fig.5
典型接收机功率密度 (dBW/MHz)	-139	-140
标称长期干扰功率密度 (dBW/MHz)	-139 + I/N	-140 + I/N
保护准则	I/N = -10	I/N = -10
链路长度 (km)	40	40

参考 WP5C 发送给 WP5D 关于 WRC23 议题 1.2 的联络函 (5D/583)

System parameters	Rural area		Urban area	
Modulation	64-QAM		64-QAM	
	Example 1	Example 2	Example 3	Example 4
Channel spacing and receiver noise bandwidth (MHz)	40	40	40	40

TX output power (dBW)	3	3	3	3
Feeder/multiplexer loss (dB)	1.8	1.8	1	1.8
Antenna gain (dBi)	38	39.5	36	38
Receiver noise figure (dB)	5	5	5	5
Antenna height(m)	60	60	20	60
Link length (km)	38	38	10	35
Note 1: There is no limitation regarding FS deployment in each type of areas. Links with the receiver end in rural and the transmitter end in urban can be treated as a rural case, in order to better protect the FS.				
Note 2: There are FS deployments with a range of values wider than those indicated in the table.				

注：最新的参数还需要等待 6 月的 WP5D 会议最终确定，其他可参考的材料包括 Rec. ITU-R F.758-7(目前还在修订中)以及 Rep. ITU-R F.2326-0。

4.4.2 NR-V2X 干扰 FS 接收机

4.4.2.1 分析方法和拓扑结构

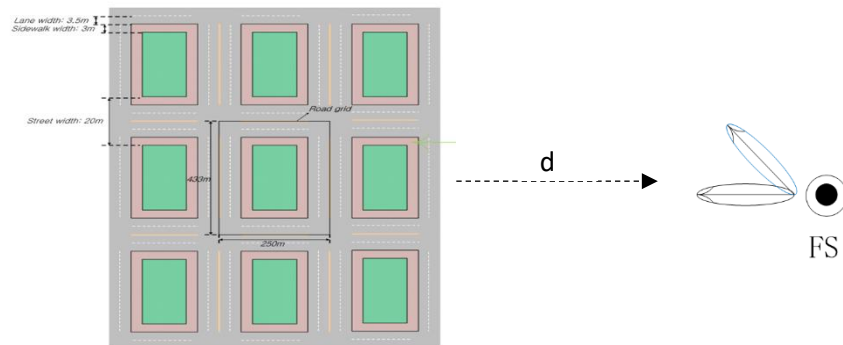


图 4.4.2.1-1 NR-V2X 干扰 FS 接收机（城区场景）

上图为俯视图，根据图示假设，现在需要计算拓扑结构内所有 NR-V2X 终端对 FS 接收机的集总干扰。假定 FS 接收机的天线最大方向正对 NR-V2X 拓扑（图示黑色波束）或者与其有一定的夹角（图示蓝色波束）。

4.4.2.2 传播模型

采用 P452 传播模型，具体设置参见 4.3.2.2 节相关说明。

4.4.2.3 分析结果

干扰分析结果参见下表

表 4.4.2.3-1 NR-V2X 干扰 FS 接收机结果汇总（Type2）

FS 接收机类型	同频		
FS 接收机偏角 (°)	0	10	30
隔离距离-市区 (km)			
隔离距离-高速 (km)			

4.4.3 FS 发射机干扰 NR-V2X

4.4.3.1 分析方法和拓扑结构

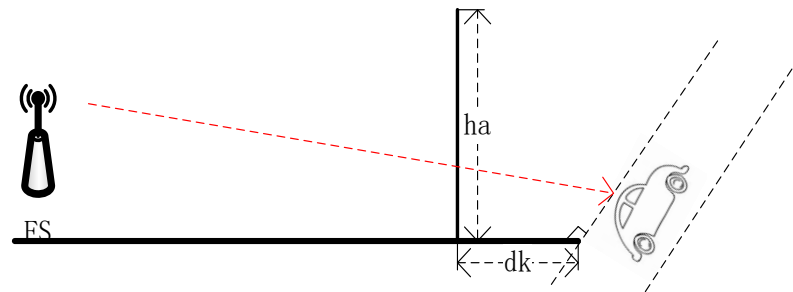


图 4.4.3.1-1 FS 发射机干扰 NR-V2X 示意图

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。

4.4.3.2 传播模型

采用 P452 传播模型，具体设置参见 4.3.2.2 节相关说明。

4.4.3.3 分析结果

表 4.4.3.3-1 FS 发射机干扰 NR-V2X（同频）

参数	数值		
干扰链路与 FS 发射机主瓣方向间的偏角	0	10	30
FS 发射机发射功率（dBm/MHz）	12.3	12.3	12.3
FS 天线增益（dBi）	45	7	-5
FS 馈线损耗（dB）	1.3	1.3	1.3
NR-V2X 天线增益（dBi）	3	3	3
NR-V2X 允许的最大干扰功率（dBm/MHz）	-111	-111	-111
所需路损（dB）			
隔离距离（km）			

5 其他候选频段共存兼容性研究

待更新。

6 结论及建议

待更新。

参考文献

- [1] 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
- [2] 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
- [3] ITU-R P.2108-0 建议书 (06/2017) 地物损耗的预测
- [4] ITU-R F.699 建议书 在 100 MHz 到 86 GHz 频率范围内进行协调研究和干扰估算使用的固定无线系统天线的参考辐射方向图
- [5] 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
- [6] ITU-R F.758-7 建议书 (11/2019)，制定固定业务中的固定无线系统 与其他业务中的系统及其他干扰源之间 频率共用或兼容性标准的 系统参数和考虑
- [7] 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

附录： 术语和缩略语

待更新。