

5G-Advanced 通感融合 空口技术方案增强研究报告

2025

A stylized blue city skyline with various skyscrapers of different heights and widths, some with internal grid patterns. Below the skyline is a thick, flowing blue wave that curves upwards from left to right, spanning the bottom of the page.

研究报告要点

通信与感知融合是移动通信重要演进方向之一，为通信网络提供新的基础感知能力，助力智慧低空、智慧交通、智慧生活、智慧网络等应用场景。通信感知融合空口技术是通感技术落地的关键研究内容，对于开展通感融合设备研发的关键重要前提。

本研究报告是在 IMT-2020 推进组发布的《5G-Advanced 通感融合空口技术方案研究报告》基础上的进一步增强研究。报告在 RAN 通感架构、无线感知功能、通感无线流程开展相应的增强研究，细化感知移动性管理及感知测量研究，完善 SF、gNB 以及 UE 间感知流程，并增加感知与定位及 AI 融合技术研究，为下一阶段通感融合无线标准化工作提供重要的研究参考。

目录

目录.....	2
1. 概述.....	4
2. RAN 通感架构增强.....	5
3. 无线感知功能增强.....	5
3.1. 感知移动性管理.....	5
3.1.1. 潜在问题.....	5
3.1.2. 感知切换.....	6
3.1.3. 终端感知节点选择.....	9
3.2. 感知测量.....	10
3.2.1. 感知测量数据定义.....	10
3.2.2. 感知测量方法.....	12
3.2.3. 感知测量上报中间数据.....	13
3.2.4. 感知测量上报感知结果.....	14
3.3. 协作感知.....	15
3.3.1. 协作感知技术分类.....	15
3.3.2. 多点协作感知收发.....	16
3.3.3. 多点协作感知复用方式.....	19
3.3.4. 多节点数据融合.....	22
4. 通感无线流程增强.....	24
4.1. 通感模式与流程映射关系.....	24
4.2. 流程概述.....	26
4.3. SF-gNB 感知流程.....	31
4.3.1. 感知能力上报.....	32
4.3.2. 感知测量配置.....	34
4.3.3. 感知测量上报.....	35
4.4. SF-UE 感知流程.....	35
4.5. UE-UE 感知流程.....	36
4.5.1. 感知能力上报.....	36
4.5.2. 感知测量配置.....	37

4.5.3. 感知业务连续性	37
4.6. gNB-gNB 感知流程	39
4.6.1. gNB 和 gNB 接口功能概述	39
4.6.2. 感知能力上报	40
4.6.3. 感知测量配置	41
4.6.4. 感知测量上报	41
5. 感知融合技术	42
5.1. 感知和定位融合	42
5.1.1. 参考信号融合	43
5.1.2. 测量上报融合	44
5.1.3. 参考 UE 辅助感知节点选择	45
5.1.4. 定位辅助感知节点选择	47
5.2. 感知和 AI 融合	48
5.2.1. AI 感知流程	48
5.2.2. AI 感知架构	50
6. 其他技术	53
6.1. 感知信号设计	53
6.2. 感知辅助通信	54
6.2.1. 潜在问题	54
6.2.2. 潜在解决方案	55
7. 总结和展望	56
8. 参考文献	57
9. 附录	57
9.1. 术语和定义	57
9.2. 缩略词表	58
10. 贡献单位	59

1. 概述

截至 2025 年 5 月末，5G 基站总数达 443.9 万个，实现“乡乡通 5G”，移动通信网络加速向 5G 演进升级，300 多个城市部署 5G-A 网络。

5G-A 通感助力低空感知，丰富 5G 新消费新体验，为经济发展提供了新动力。运营商已部署具有通感技术的移动通信网络规模试验，3GPP 在近期也将完成通感一体的信道建模工作，为 5G-A 和 6G 的通感标准化提供技术方案评估基础。

本研究报告在第一版本《5G-Advanced 通感融合空口技术方案研究报告》研究的基础上，进一步围绕多个关键方向展开增强研究：

- (1) RAN 通感架构：增强分布式架构设计，gNB 可集成部分感知功能单元（SF）能力，支撑感知控制、数据预处理及跨节点资源协调。
- (2) 无线感知功能：细化感知移动性管理及感知测量研究。研究集中式与分布式架构下的节点切换机制，基于目标位置、信号质量等因素优化相邻节点选择，定义信号门限及 UE 状态触发的切换条件。将感知数据划分为原始信号、谱信息、点云及目标结果四层，支持 UE / 基站 / SF 三层计算主体的测量方法与差分上报机制。
- (3) 通感无线流程：完善 SF、gNB 以及 UE 间感知流程，新增 gNB-gNB 之间的感知流程设计。
- (4) 感知与定位及 AI 融合技术：整合 定位 PRS/PTRS 等参考信号实现联合测距测速，融合定位测量与感知数据联合上报，优化移动 UE 的感知节点选择。构建终端侧与网络侧 AI 架构，通过辅助数据交互与多节点数据融合，提升目标检测与环境建模的智能性。

本报告致力于为下一阶段通感融合无线标准化工作提供一定研究基础，在通感融合物理层过程、测量流程、信号设计、协作方式等重要设计内容发挥重要参考作用。

2. RAN 通感架构增强

感知服务连续性保证，可以进行分布式架构下的感知一体化，其中 gNB 可以执行 SF 的部分或全部功能，可以计算感知结果以及触发相邻基站追踪目标。此外，考虑到不同基站之间存在的感知信号的干扰，RAN 更容易感知空口资源并及时合理分配空口感知资源。为了避免干扰，RAN 应该被允许执行部分感知控制功能（例如，空口感知资源分配）。同时，考虑到为了降低感知测量数据传输的数据量，RAN 在感知测量数据上报时可以进行预处理降低数据传输的开销。具体的，感知测量数据预处理操作可以为通过原始信号信息处理为感知初步数据或感知中间数据或感知结果等，预处理操作还可以包括聚合多个感知节点的感知测量数据进行处理以获取更准确的感知结果。

因此，除 SF 执行感知控制功能和感知结算功能外^[3]，RAN 应被允许执行部分感知控制功能和数据预处理功能。如下图所示，RAN 可能包含新的逻辑功能单元，例如 Sensing Unit 感知单元，用于执行感知控制功能、数据预处理功能、感知能力获取，感知配置交互，感知结果计算等，如图 1 所示。而 SF 功能可以部署在核心网也可以部署在核心网之外。

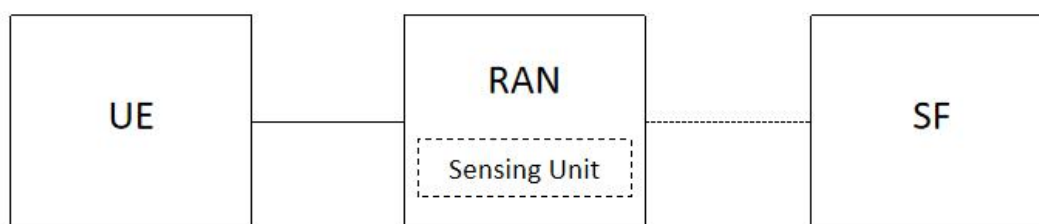


图 1 感知功能部署的端到端架构示意图

3. 无线感知功能增强

3.1. 感知移动性管理

3.1.1. 潜在问题

为保证入侵检测和目标追踪场景的感知服务连续性，需研究如下潜在问题：

（1）集中式架构 VS 分布式架构

集中式架构是指 SF 作为支持通感一体化网络的集中控制节点，支持感知服务连续性保证的一系列功能，如根据接收到的测量报告计算感知结果，协同合作感知模式下各参与节点

的感知配置，选择并触发相邻基站提前参与感知等。在 SF 存在的架构下，应由 SF 触发感知节点更换过程并为目标节点提供所需的信息。另一方面，随着边缘计算等技术的兴起，针对通感一体化的分布式架构也存在一定可能性。在分布式架构中，每个基站集成了部分或全部 SF 的功能，可以计算感知结果以及触发相邻基站追踪目标。与集中式架构不同，为了使能分布式架构，需要对传统的 Xn 接口进行增强使其支持感知相关的功能，如感知（去）激活、感知测量报告传输和感知配置协同等。因此，需研究设计集中式架构和分布式架构下的感知服务连续性保障方案。

（2）相邻节点选择

当入侵目标移动到当前节点的感知边缘处时，为保证感知服务连续性，SF 或当前节点需选择合适的相邻/目标节点参与感知。选择好相邻节点后，SF 或当前节点可为相邻/目标节点提供当前的感知结果（如入侵目标的位置、移动方向等）、感知配置建议等信息，方便相邻节点获得更为精准的感知配置，从而提升感知性能。此外，为保证感知服务连续性，可选择多个相邻节点提前感知并根据实时的感知结果筛选出最合适的相邻/目标节点。因此，需提供相邻节点选择相关流程和信令设计。

（3）感知切换条件

基站或者感知网元需要确定感知切换的条件是否满足或者触发切换的事件是否发生，该过程可以是基于当前感知节点已经满足不了感知业务的需求。比如接收的信号质量（通信信号/感知信号）低于某个门限。此外，切换还可能由一些非感知相关的因素触发，例如 UE 的电量低于预设门限，或者 UE 有更重要的突发业务（例如 URLLC 业务）等。因此，需设计感知切换的条件。

3.1.2. 感知切换

移动通信网络中的感知节点，例如基站、UE 等，可以通过节点彼此之间发送或接收感知信号，或者通过节点自发自收感知信号两种不同方式进行感知/通感一体化业务。由于感知目标的状态（包括空间位置、空间朝向、运动速度等等）或感知环境可能发生改变，为了保证感知/通感一体化业务连续性，以及持续保障感知/通感一体化 QoS，网络可能需要进行感知节点切换。另一方面，考虑到不同感知节点的感知能力不同，以及感知节点分布的不均匀性，感知节点切换的过程还可能伴随着不同感知模式的切换。

对于 A 发 B 收感知模式（包括双基站和基站和 UE 感知）面临切换问题，如图 2 所示。

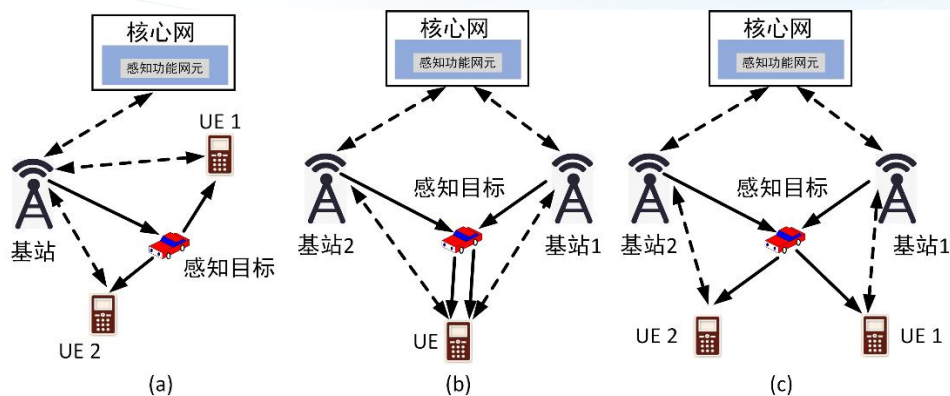


图 2 A 发 B 收感知模式下的感知节点切换场景示意图

以基站下行发送感知信号、UE 接收，对感知区域中的移动车辆进行测距测速作为例子（上行同理），图 2 (a) 给出了感知节点 UE 发送切换的场景。当目标车辆从 UE 1 附近移动到 UE 2 附近的过程中，经过目标车辆反射的感知信号质量可能会由于 UE 1 与目标车辆之间距离增大或者目标车辆雷达反射截面 RCS 变化而显著降低，进而引起感知/通感一体化业务性能下降，甚至业务中断。基站或者感知网元可以根据所掌握的该区域内的 UE 信息，调度 UE 2 作为切换后的感知节点。图 2 (b) 给出了感知节点基站发生切换的场景。类似地，基站 1（源感知节点）或者感知网元可以通过调度基站 2（目标感知节点）作为切换后的感知节点，与 UE 一同继续完成感知/通感一体化业务。图 2 (c)则是给出了基站与 UE 均发生切换的情况，即切换前为基站 1 与 UE 1 对目标车辆进行感知，切换后为基站 2 与 UE 2 对目标车辆进行感知。

对于自发自收的感知（包括基站自发自收和终端自发自收）面临切换问题，如图 3 所示。

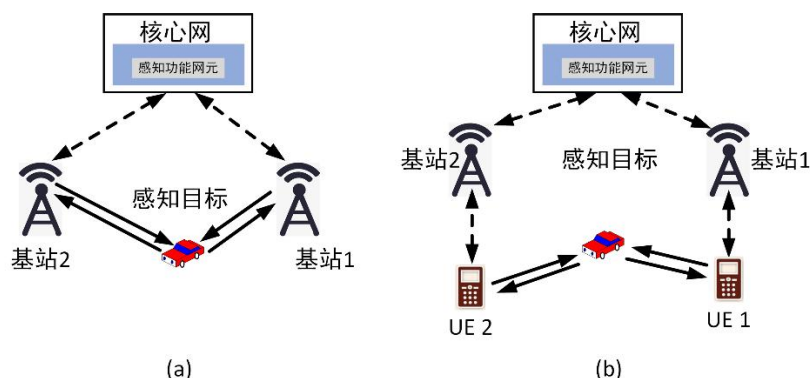


图 3 自发自收感知模式下的感知节点切换场景示例

对于感知节点自发自收感知模式，为了保证感知/通感业务连续性，同样可能需要感知节点切换。如图 3(a)所示，以基站通过自发自收感知信号对移动车辆测距测速为例，目

标车辆从基站 1 移动到基站 2 的过程中, 经过目标车辆反射的感知信号质量可能会由于基站 1 与目标车辆之间距离增大或者目标车辆 RCS 变化而显著降低, 进而引起感知/通感一体化业务性能下降, 甚至业务中断。基站 1 或感知网元可以根据所掌握的该区域内的其他基站信息, 调度基站 2 作为切换后的感知节点, 进行自发自收感知。对于 UE 自发自收感知 (图 3 (b)), 情况也类似。

考虑到不同感知节点 (包括基站、UE) 感知能力的差异以及感知节点分布的不均匀性, 感知节点切换时还可能伴随着感知模式的切换。仍然以对移动车辆测距测速为例子, 图 4 给出了一个感知模式切换的示意图。假设在切换之前, 基站通过自发自收感知信号的方式实现对目标车辆的感知。当目标车辆逐渐远离基站, 由于感知信号回波路程增大或者目标车辆 RCS 变化, 可能引起感知/通感一体化业务性能下降甚至业务中断。此时, 基站或者感知网元可以根据所掌握的该区域内的其他基站以及 UE 信息, 调度目标车辆区域附近的 UE 与基站, 通过基站发感知信号 UE 接收的方式对目标车辆进行持续测距测速。需要说明的是, 在这种场景下切换后参与感知的基站与源基站可以是不同的基站。在某些情况下, 基站发送感知信号 UE 接收 (或者 UE 发送感知信号基站接收) 的感知模式, 也可切换为基站 (或 UE) 自发自收感知信号的感知模式。

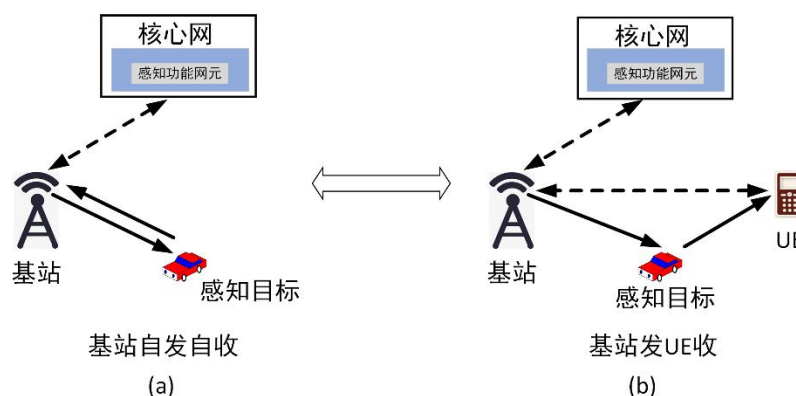


图 4 感知模式切换示意图

如图 5 所示, 基站 1 在本通信覆盖范围内找不到合适的感知 UE 时, 需要向相邻基站请求感知 UE 信息。当基站 1 与 UE2 进行合作感知时, 由于 UE2 不在基站 1 的通信覆盖范围内, 基站 1 需要与基站 2 协调 UE2 的感知配置。在集中式架构下, 可由 SF 来触发感知 UE 选择并协调相关配置; 在分布式架构下, 基站之间的接口需要支持相应的感知功能。

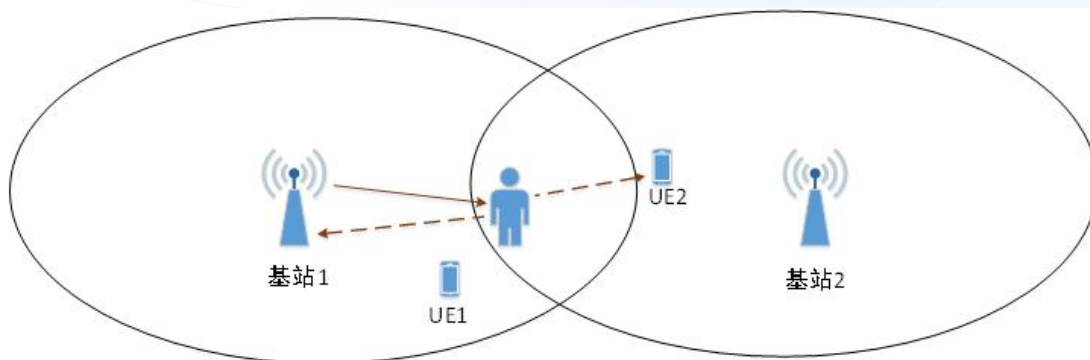


图 5 邻区 UE 协作感知的场景

针对这种情况，潜在的解决方案包括：需要其它小区协作的基站向 SF 发送请求，在请求中包含需要协作的信息（比如感知区域，感知类型等），SF 向周围小区发送请求，获得适合的 UE，并反馈给请求基站。

3.1.3. 终端感知节点选择

影响终端感知节点选择的因素主要包括：

（1）终端是否相对静止。对大多数感知业务来说，在感知业务期间需要感知节点保持相对静止，这样才能比较容易得到稳定准确的感知目标信息。因此只有当终端在感知业务期间保证相对静止，才能被选为感知节点。当然相对静止不是绝对静止，对于感知精度要求低或不要求测量感知角度等业务，终端小范围的移动或转动并不会对感知结果有太大影响。但对于感知精度要求高的业务，需要保证终端绝对静止（或轨迹转动确定且已知），这种情况可能就需要选择为感知业务特别布署的固定感知终端。

（2）感知能力是否满足感知业务的需求。感知能力包括：支持的感知测量量（如时延、多普勒、角度、成像等），可以达到的感知精度和分辨率，能覆盖的感知范围，可进行的感知时间等。这些能力可以通过终端上报获得。

（3）感知 SINR 是否满足需求。只有当感知 SINR 达到一定水平目标才能被准确检测到，所以要选择感知 SINR 满足需求的终端。感知 SINR 可以通过终端测量获得。但在有些情况下终端无法获得感知 SINR。当感知目标已经被检测到并知道目标的大致位置时，可以使用目标与基站和终端的距离来代替感知 SINR。当目标未被检测到时，可以使用基站和终端之间的通信 SNR 或 RSRP 来筛选终端，或根据基站和终端之间的距离进行筛选。因为当通信 SNR 高或终端离基站近时，较大概率能获得比较高的感知 SINR。

(4) 是否存在感知 LoS 径。LoS 径对估计目标位置和速度类的感知业务很重要。如果目标已经存在并被检测出来，终端可以通过感知结果判断是否存在感知 LoS 径，或通过目标与基站和终端的距离来判断 LoS 径的概率。但如果目标不存在或未被检测出之前，只能通过通信 SNR 或基站和终端的距离来进行终端的筛选。因为当通信 SNR 高或终端离基站近时，感知 LoS 径存在的概率也比较大。

(5) 终端节点位置精度是否满足要求。需要估计目标位置和速度等感知业务一般要知道发送和接收节点的准确位置。位置信息的准确程度对感知结果有一定影响。对于终端参与的感知模式，需要提供终端的位置信息。终端的位置信息可以通过通信定位、GPS 或已知确定部署位置等方式获得。而这些方式对应可获得的终端位置精度各不相同，所以需要根据感知业务精度要求选择能提供对应位置精度的节点。比如位置精度要求高时，要选择通信定位精度高，或支持 GPS 定位，或已知部署位置的终端节点。

3.2. 感知测量

3.2.1. 感知测量数据定义

感知信号处理涉及很多算法^[4]，每一种算法处理都会产生感知数据。如图 6 给出了一种感知测量数据处理的示意流程，以及对应感知测量数据的划分方式：

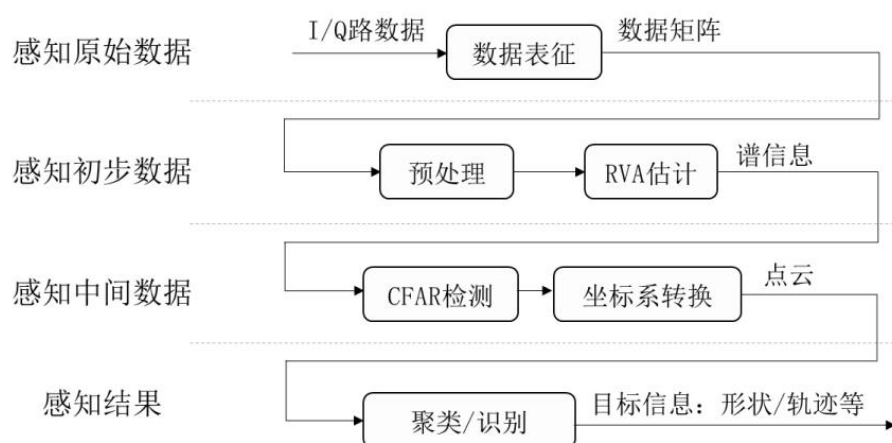


图 6 感知测量数据处理的示意流程

感知原始数据应理解为接收端直接获取的测量结果，比如不同时间接收的信号强度。例如如图 7 上报感知初始数据可以按照采样后的快慢时间维度进行排列，形成原始信号的数据矩阵。示例性的，在此方法下形成的数据矩阵的示意图如图 7 下，图中深色指示有较大值

的位置：

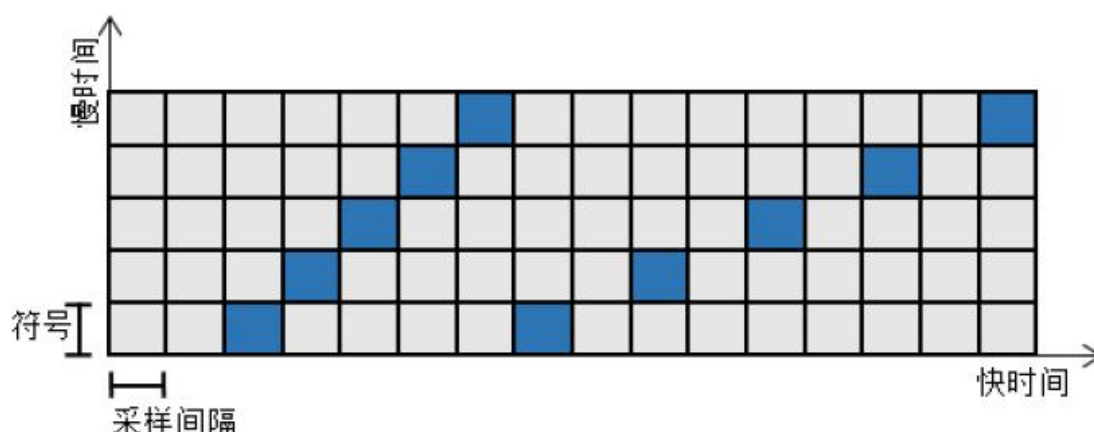


图 7 原始数据矩阵示意图

感知初步数据是对测量结果经过进一步处理得到的信息，例如通过傅里叶变换，距离计算，角度计算等操作。值得说明的是感知初步数据应理解为尚未提取出是否存在目标的信息，仅是针对感知测量结果的进一步处理的表征。一般情况下，感知初步数据与感知原始数据的规模是相同的。接收端发送感知初步数据的格式可以采用 RD（Range-Doppler）谱、RV（Range-Velocity）谱、RVA（Range-Velocity-Angle）谱等不同的方式。示例性的，RD 谱可以是基于感知初始数据对慢时间维度进行傅里叶变换形成频率，对快时间维度处理形成距离，如图 8 下给出了一种示意图：

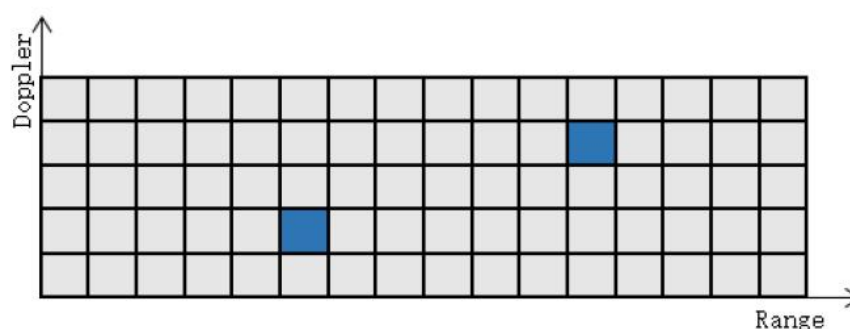


图 8 RD 谱示意图

同时，接收端感知原始数据和感知初步数据可以采用压缩方式进行传输，以降低接收端向 SF 上报的开销。

感知中间数据为接收端针对感知初步数据进一步处理（比如 CFAR 检测，坐标系转换等）生成的多个点以及对应的特征。值得说明的是，感知中间数据可以体现是否存在感知目标的信息，其包含的点均为感知目标对应的点，但尚不能体现感知目标的类型/材质。相比于感知原始数据和感知初步数据，感知中间数据的数据量可以大幅减少。具体的，感知中间

数据可以基于已有的点云的格式（例如 XYZ 三维笛卡尔坐标, PTS（Point Set） 等）进行表征，或者定义专用于表征感知中间数据的格式。如下给出了一组点云的示意图和上报内容的形式：

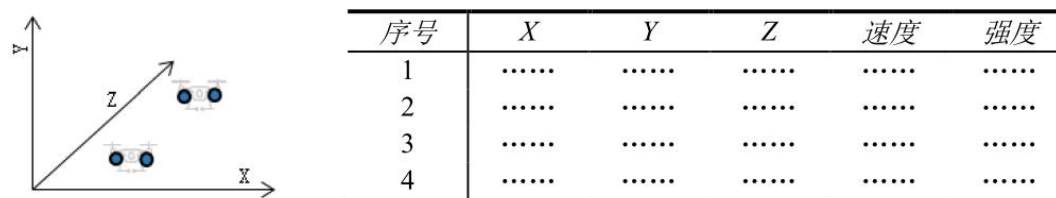


图 9 点云上报内容示意图

除了上报点云的坐标外，点云也可以上报时延、角度信息，基于时延、角度和双方站的位置计算出三维坐标。

注：PTS 是一种用于存储三维点云数据的文件格式，通常每一行包含一个点的坐标（如 XYZ），有时还包括强度等信息。

3.2.2. 感知测量方法

对于感知方法的选择，它依赖于用户设备（UE）、基站（BS）以及服务功能（SF）的计算资源、软件和硬件能力。直接来看，应包含以下三种通用的感知方法：

- 感知方法 1： UE 计算感知结果
- 感知方法 2： BS 计算感知结果
- 感知方法 3： SF 计算感知结果

对于方法 1，UE 能够执行感知结果的计算。例如，UE 能够接收感知参考信号，并进一步基于感知测量识别不同的人手。之后，UE 可以将最终感知结果报告给 SF。

对于方法 2，BS 能够执行感知结果的计算。例如，BS 能够接收感知参考信号并进一步检测是否有人机（UAV）侵入，并计算无人机的位置或者轨迹。然后，BS 可以将无人机的位置或轨迹报告给 SF。

对于方法 3，SF 能够执行感知结果的计算。例如，BS 或 UE 仅需向 SF 报告一些中间测量元素，如时间、角度、参考信号接收功率（RSRP）等。然后，SF 收集所有结果并进一步计算出最终的感知结果。

在整个系统中，应根据计算资源的分布支持所有三种方法。例如，在无人机侵入检测方面，如果一个 BS（可能连接着多个分布式单元 DU 甚至跟多 RU，或传输接收点 TRP）能够计算无人机的位置或进行跟踪，它就可以快速地进行测量和计算，然后将无人机的位置或跟踪结果报告给 SF，以达到低延迟的目的，并减轻 SF 的负担。

3.2.3. 感知测量上报中间数据

无论是对于自发自收模式，还是 A 发 B 收模式，对于 SF 计算最终感知结果的场景，感知测量的内容一般包含以下测量量，如图 10 所示：

- 接收功率：RSRP, RSRPP (per path)
- 时延：到达时间 (Timing of arrival, TOA) 或者 到达时间差 (timing difference of arrival, TDOA)，或者收发往返时间差 (Rx-Tx timing difference, RTTD) 等
- 速度：多普勒频偏值，或者速度值，或者相位变化量
- 角度：AOA, ZOA
- 置信度：测量量的可靠性
- 测量资源的时间戳，感知参考信号的资源配置信息等
- 信道信息：完整的信道信息或部分感知信道信息，包括时域、频域、空域维度的信道信息

如果是 SF 侧去计算感知最终结果，例如目标物有无以及目标物具体位置，接收端需要将上述测量数据反馈给 SF。

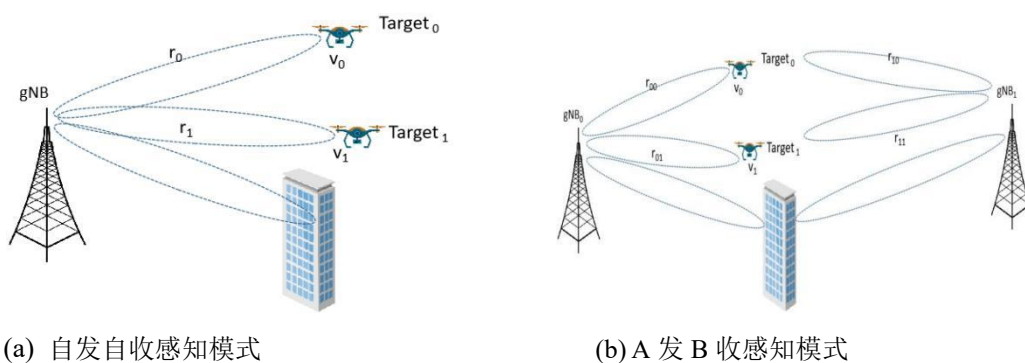


图 10 自发自收感知模式 和 A 发 B 收感知模式

如图 10 所示，两个感知目标可能和感知收发端的距离相同，而角度不同。那么最终接收端测量出的测量结果可能如图 11 所示。

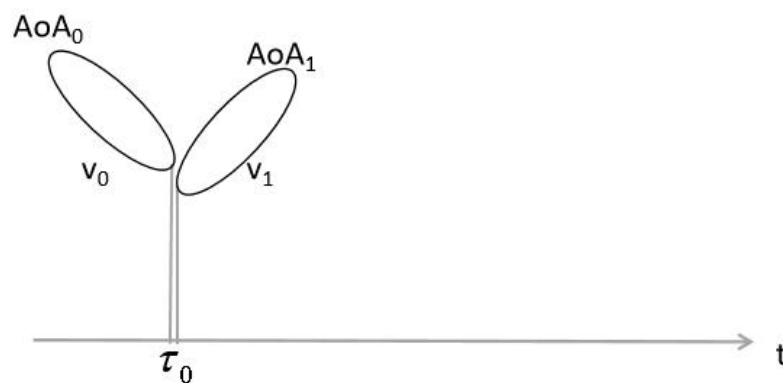


图 11 两个接收目标的时延相同

在接收端，接收机可以利用各种算法，比如在时域、空域、频域三个维度做 FFT 以滤除杂波，并提取潜目标的信道信息，只要不同目标在一个维度可以被区分出来，就可以独立上报这两个潜在目标的测量结果。为了简单起见，两个潜在目标的测量上报内容可以如表 1 所示：

表 1 两个 MUs 分别对应 2 个潜在目标物体

测量上报单元 1 (Measurement unit 1)	测量上报单元 2 (Measurement unit 2)
RSRP ₀	RSRP ₁
AOA ₀ 、ZOA ₀	AOA ₁ 、ZOA ₁
Doppler ₀	Doppler ₁
TOA ₀	TOA ₁
时间戳，感知参考信号配置索引等	

然而，现实中一个目标物体的反射波可能不止一条，尤其是目标物体尺寸较大，且离接收机比较近的时候。如图 12 所示，每个无人机的反射波有 2 条。

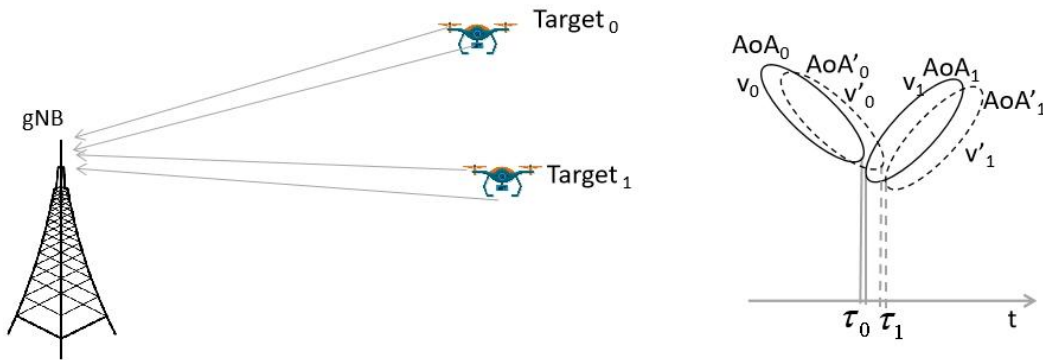


图 12 两个接收目标，每个目标有 2 个接收径

对于目标无人机 0，分别对于 MU#0, MU#1，而对于目标无人机 1，分别对应 MU#2, MU#3。

- MU#0: { τ_0 , AOA₀, v_0 , RSRPP₀}
- MU#1: { τ_1 , AOA'₀, v'_0 , RSRPP'₀} -虚线表示
- MU#2: { τ_0 , AOA₁, v_1 , RSRPP₁}
- MU#3: { τ_1 , AOA'₁, v'_1 , RSRPP'₁} -虚线表示

由于最终计算感知结果的是 SF，而不是接收机，所以感知测量的接收端只需要将多个 MU 上报给 SF 即可，接收机不需要区分 MU 和目标之间的映射关系。

为了节省信令开销，多个 MUs 之间可以利用差分方式上报。比如将 MU#0 里的测量结果作为参考，MU#1 中的各个测量量只上报一个偏差。

3.2.4. 感知测量上报感知结果

而对于上述感知方法 1 或者 2，UE 或者基站有能力做感知数据处理，此时 UE 或者基站上报的测量结果可以是轨迹追踪类的最终测量结果，可以包括多个轨迹点，每个轨迹点的

上报内容可以包含：

- 目标类型，例如人，无人机，车，船等；
- 目标坐标，例如 (x, y, z)；
- 目标速度；
- 测量时间等信息。

3.3. 协作感知

3.3.1. 协作感知技术分类

协作感知是通过多要素共享、多频段协作、多节点协作等技术手段，提高感知性能、降低网络部署成本，并提升用户体验感受。面向感知的协作技术可以分为如下几类：

(1) 多频段协作

5G-A 以及未来的 6G 是一个低、中、高多频段协同的全频谱系统，包括授权频谱和非授权频谱；将多频段有机协作起来，可满足不同的通信和感知需求，支撑个性化业务。如：

◆ 低频段（如：<1GHz 频段）进行深度覆盖，满足 Mbps 级基本通信需要，同时满足远距离低分辨率的感知业务需求；

◆ 中频段（如：Sub-10GHz 频段）主要用于连续覆盖、中高速通信（Gbps），以及粗颗粒度（米级）、广域范围的信息探测；

◆ 高频段（毫米波）按需开启，进一步提升通信速率和感知分辨率（亚米级）。

除了多频段协作感知用于波束跟踪、定位等不同的应用场景之外，还可以同一个频段内多个载波的协作拼接出大的感知带宽，进而提升感知距离分辨率。

(2) 多节点协作

依托网络的优势，采用多节点智能协作即网络协作通感技术，可以在提升边缘用户体验的同时，实现探测目标的高精度感知。此外，多节点感知信息可以联合处理，达到提升感知精度、扩大感知范围、增强感知连续性的效果，满足目标捕获和跟踪需求。

在上述的协作感知技术中，多频段协作的重点是在接收端对多个频段的数据融合处理过程，以及标准流程上基于静态/半静态的配置过程。以下将重点介绍多点协作感知技术研究。

3.3.2. 多点协作感知收发

多节点协作感知的关键技术包括：协作感知流程、感知节点选择、感知信息融合、空间同步、协作感知定位、协作感知干扰协调等。本节重点介绍多节点协作接收、多节点协作发送和协作感知干扰协调。参与协作感知的节点可以是 gNB，也可以是 UE。多节点协作的协作主体，可以为 SF，或者 gNB，或者 UE。

◆ 多节点协作接收

多节点协作接收，是将多个感知接收节点接收到来自同一个感知发送节点的数据，进行联合处理，从而进一步提高感知信号的精度和可靠度。协议接口上，需要感知接收节点将感知信息转发给一个特定节点进行联合处理，联合处理节点可以是 SF，也可以是 gNB。转发的感知信息可能包括多种层级和格式，例如可以包括如下几种：

- 感知结果：目标的距离、速度等，甚至比如车辆稽查信息、智慧路口和动态地图等。
- 感知中间数据：感知测量生成的点云信息等。
- 感知初步数据：时延扩展谱、多普勒谱、微多普勒谱、角度谱、信号强度谱等信息。上述谱信息包含了多条径或多种运动模式的信息，每一条径或每一个运动模式可通过独立的谱线或参数反映。
- 感知原始数据：接收信号或者原始信道信息（如接收信号或信道响应的复数结果、幅度和/或相位、I 路/Q 路及其相关运算结果）。

多点协作接收的问题需要考虑以下问题：

(1) 选择感知接收节点时考虑其能支持的信息上报层级

不同的感知接收节点支持的信息上报层级可能不同，从而影响接收节点的选择。一方面，接收节点可以向感知服务器上报其支持的信息上报层级，从而感知服务器在选择感知节点时可以考虑其这一能力，比如选择支持相似信息上报层级的接收节点。另一方面，接收节点在收到感知服务请求后，如果发现其没有足够的能力来支持当前服务，便拒绝该服务请求。

(2) 感知服务器更新协作感知配置

考虑到节点的计算资源可以由多个服务共享，接收节点可以根据服务优先级/重要性等信息动态调度其计算资源，从而导致当前的计算资源与正在进行的感知服务的配置不匹配，如当前计算资源不能支持将测量结果处理到之前配置好的层级。另一方面，动态的通信链路

质量也会导致接收节点在上报特定层级的测量报告时发生传输失败。为了保证感知性能，感知报告的上报层级需要进行配置更新以适应动态的感知计算资源和通信链路质量。

具体地，感知服务器可以允许接收节点上报感知计算资源发生变化的指示，或给接收节点提供请求更新配置的条件。当收到来自接收节点的指示或请求时，感知服务器结合多个接收节点的情况进行上报层级的配置更新。

(3) 配置信息上报层级时考虑节点信息

除感知计算能力外，接收节点的选择也会受到其他因素的影响，比如接收节点与感知目标之间的距离。对于某些感知服务（如目标追踪），感知接收节点距离感知目标越近往往意味着可以获得更好的感知效果。也就是说，离目标更近的感知节点可以提供更有价值的感知数据。因此，为了从‘高质量’的感知节点处获得更多数据，可以给它们提供特定的配置，比如给距离目标近的感知节点的上报层级配置为“原始测量结果”，使其上报更为丰富的信息。综上，为了获得更好的感知性能，配置信息上报层级时可以考虑节点位置等信息。

◆ 多节点协作发送

通过多个感知发送节点发送各自的感知信号，使得同一个感知接收节点可以接收来自不同感知发送节点的感知信号。从多个发送节点的时频资源正交性上，分为多发送节点间感知时频资源完全正交，和感知时频资源非正交（类型 1），感知时频资源非正交（类型 2），如表 2 所示：

表 2 多节点协作发送模式

编号	模式	解释	特点
1	时频资源正交	不同发送节点的感知资源正交，如：占用不同的时域符号，或者不同的频域资源。	占用多份资源，根据资源直接区分发送节点。节点间无干扰。
2	时频资源非正交（类型 1）	不同发送节点的使用相同的感知资源，感知信号序列不同。	占用一份资源，根据不同序列（如：扰码）区分不同发送节点。节点间有干扰。
3	时频资源非正交（类型 2）	不同发送节点使用相同感知资源，感知信号序列相同。	占用一份资源，多节点间的信号以多径形式存在，需要联合处理来区分不同发送节点，将多径信号转换为有用信号。

时频资源正交的多节点发送模式，每个发送节点占用一份资源。占用资源多，但节点间没有相互干扰，比较适用于协作节点外干扰水平高，空口资源充足的情况。

时频资源非正交（类型 1）多节点发送模式，多个发送节点共享一份资源，占用资源少。感知发送节点之间信号序列不同，可以通过序列区分不同的感知发送节点。由于序列间非完全正交，会产生节点间干扰，比较适用于协作节点外干扰水平低，空口资源紧缺的情况。

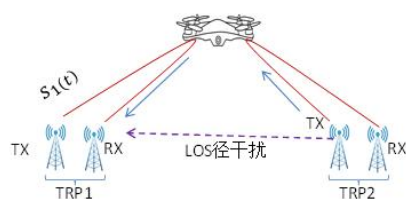
时频资源非正交（类型 2）多节点发送模式，多个发送节点共享一份资源，占用资源少。各个感知发送节点发送的信号相同，从接收节点来看，相当于增加了多径信号，多个感知接收节点将多个感知测量量上报给 SF，SF 根据上报测量量和感知发送节点的对应关系，对多径对应的测量量进行分离，则可以将多径信号转换为有用信号。

◆ 协作感知干扰协调

当多个 gNB 在相同的时频资源上发送感知信号时，对感知信号接收端会造成干扰。其中，以 TRP 单基地、TRP-TRP 双基地感知模式为例，如图 13 所示，能够造成比较大的干扰的两种情况为：

- 相邻小区 LOS 径干扰：相邻基站发送的感知信号，通过 LOS 径或功率较强的 NLOS 径到达接收节点；
- 双基站自干扰：既要接收相邻 gNB 发送的感知信号，同时 gNB 自己有要发送感知信号。

干扰场景（1）：邻TRP的LOS径干扰



干扰场景（2）：自干扰

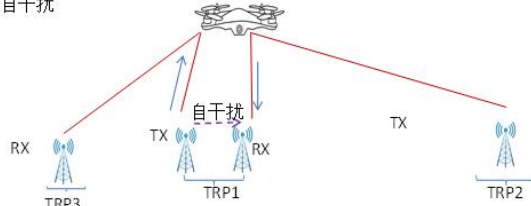


图 13 两种强同频干扰场景

如上图所示，对于干扰场景（1），TRP1 和 TRP2 均工作在单基地模式，TRP2 发送的感知信号，可能通过 LOS 径到达 TRP1 的接收端，从而对 TRP1 造成较强干扰。对于干扰场景（2），TRP1 和 TRP2 工作在双基地模式，TRP2 发送 TRP1 接收；TRP1 和 TRP3 也工作在双基地模式，TRP1 发送 TRP3 接收。如果 TRP1 发送的资源 and TRP2 发送的资源相

同，则 TRP1 会产生严重的自干扰（特别当 TRP1 没有自干扰消除能力时），影响 TRP1 的感知信号接收。

3.3.3. 多点协作感知复用方式

多个发送节点参与协作感知时，其感知资源的复用方法可以是正交的，这种正交性可通过 TDM、FDM、CDM 来实现，或者上述至少 2 种复用方案的组合实现，以下分别进行简要介绍。

■ 协作感知时频资源正交复用

1) TDM/FDM 方式

TDM 方式通过各发送节点在不同 OFDM 符号上发送感知信号，在时间域上实现各节点发送信号的相互正交。FDM 方式通过各发送节点在不同频域资源上发送感知信号，在频率域上实现各节点发送信号的相互正交。

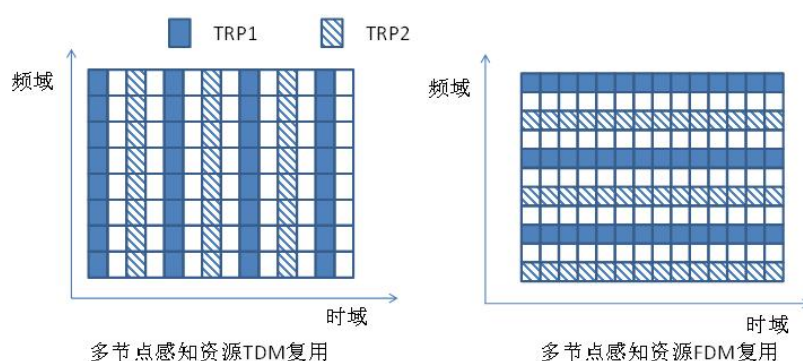


图 14 多节点感知资源复用方式（TDM/FDM）

如图 14 所示，以参与协作发送节点数为 2 为例，图中的不同色块代表不同发送节点的感知信号所占的时频资源格。这里以 1 个子载波间隔为 1 个频域资源格宽度，1 个符号长度为 1 个时域资源格宽度为例进行说明（即 1 个资源格表示 1 个 RE（Resource Element，基本资源单元））。无色区域表示各节点发送信号的时频域间隔（间隔区域可发送数据信号或者不发信号）。上述 TDM/FDM 方式的特征为，在单个时间/频率资源上，各发送节点的感知信号分别在时域不重叠，和在频域不重叠，从而达到相互正交的目的。

2) CDM 方式

CDM 方式是对感知信号进行正交码扩展，使编码后的各个节点的发送信号彼此正交。类似通信中类采用 CDM 的方式，各节点发送的感知信号所占时/频域资源可完全重叠，接收端通过正交解扩码分离各发送节点的信号，从而计算不同发送节点的感知信号经历的信道。

根据一个感知资源可参与码分复用的个数，CDM 复用方式分为如图 15 下两种。

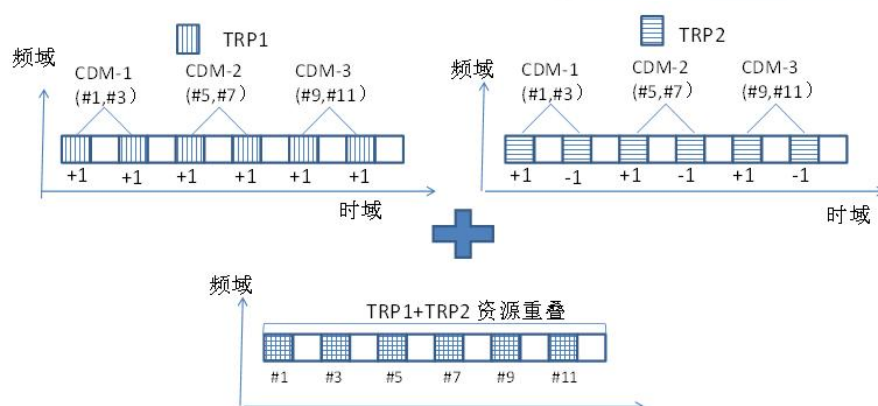


图 15 多节点感知资源复用方式 CDM 方式 1

感知资源复用方式 CDM 方式 1 为一个感知资源只参与一个 CDM 码分分组。如图 15 所示，假设两个 TRP 在 6 个资源上进行 CDM 码分复用，且复用因子为 2。则资源#1 和#3 为一个码分组，资源#5 和#7 为一个码分组，资源#9 和#11 为一个码分组。相应的，在接收端进行码分解扩，则对于 TRP1 和 TRP2 分别可以计算出 3 个信道响应 H。如：对于 TRP1 发送的感知信号，CDM-1 中可以计算出信道响应 H1，CDM-2 中可以计算出信道响应 H2，CDM-3 中可以计算出信道响应 H3。

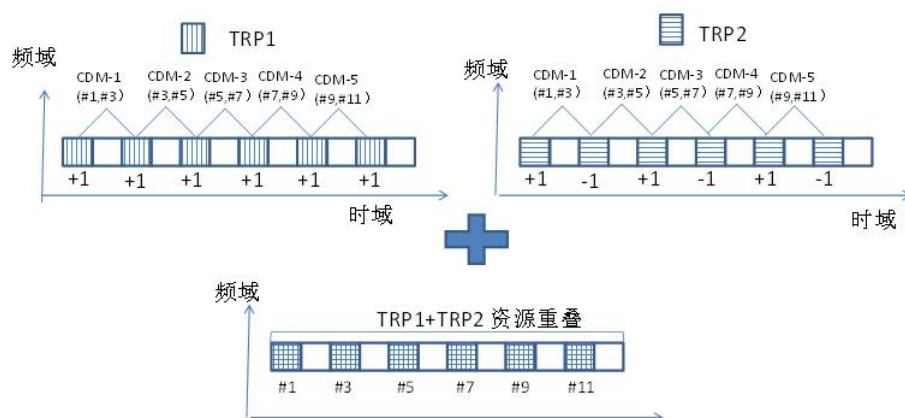


图 16 多节点感知资源复用方式 CDM 方式 2

感知资源复用方式 CDM 方式 2 为一个感知资源可以参与多个 CDM 码分分组。如图 16 所示，假设两个 TRP 在 6 个资源上进行 CDM 码分复用，且复用因子为 2。则资源#1 和#3 为一个码分组，资源#3 和#5 为一个码分组，资源#5 和#7 为一个码分组，资源#7 和#9 为一个码分组，资源#9 和#11 为一个码分组。相应的，在接收端进行码分解扩，则对于 TRP1 和 TRP2 分别可以计算出 5 个信道响应 H。如：对于 TRP1 发送的感知信号，CDM-1 中可以计算出信道响应 H1，CDM-2 中可以计算出信道响应 H2，CDM-3 中可以计算出信道响应 H3，

CDM-4 中可以计算出信道响应 H_4 ，CDM-5 中可以计算出信道响应 H_5 。

■ 协作感知时频资源非正交复用

多个发送节点参与协作感知时，其感知资源的复用方法可以是非正交的。从产生感知信号的序列角度讲，非正交有两种形式，一种是各个发送节点的感知信号序列不同，如使用 gold 序列时，各个发送节点使用产生 gold 序列的初始值 SequenceID 不同；另外一种是非各个发送节点的感知信号序列相同，如使用 gold 序列时，各个发送节点使用产生 gold 序列的初始值 SequenceID 相同。下面分别介绍这两种情况。

1) 时频资源非正交（类型 1）

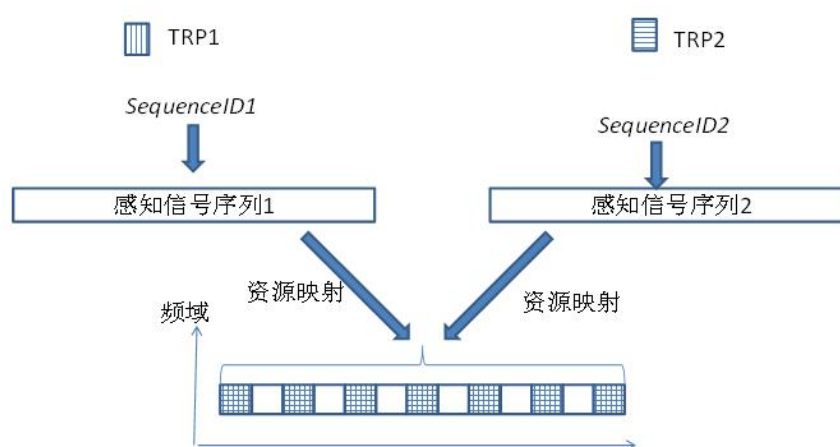


图 17 时频资源非正交（类型 1）

时频资源非正交（类型 1）复用，本质上是各个发送节点在相同的资源上分别发送不同的随机序列，并且不同的随机序列之间是非正交的。需要配置不同的初始值 SequenceID，以便不同发送节点产生不同的随机序列，这样可以使得节点间发送的感知信号的干扰白噪化。以两个 TRP 在相同的资源上发送感知信号为例，如图 17 所示，TRP1 配置 SequenceID1，产生感知信号序列 1；TRP2 配置 SequenceID2，产生感知信号序列 2。相应的，在感知信号接收到端，如果要接收 TRP1 的感知信号，使用 SequenceID1 产生感知信号序列，并对接收到的感知信号进行解扰操作；如果要接收 TRP2 的感知信号，使用 SequenceID2 产生感知信号序列，并对接收到的感知信号进行解扰操作。

时频资源非正交（类型 1）复用方式的优点是各个发送节点之间发送信号相互独立，缺点是相互有干扰。

2) 时频资源非正交（类型 2）

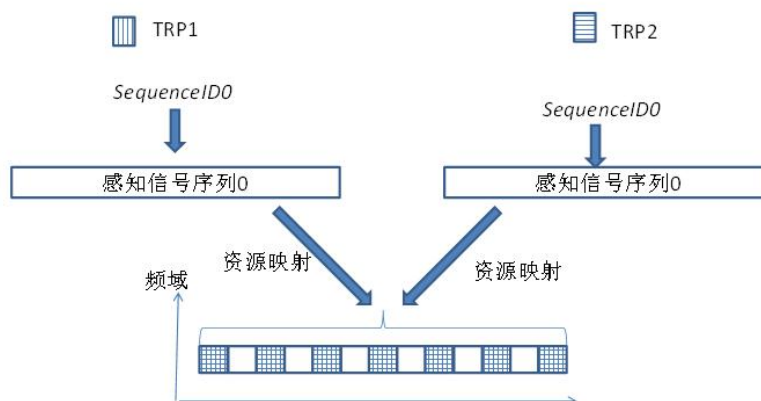


图 18 时频资源非正交（类型 2）

时频资源非正交（类型 2）复用，本质上是各个发送节点在相同的资源上发送相同的信号，这需要配置相同的初始值 `SequenceID`，以便不同发送节点产生完全相同的随机序列，这样做的好处是可以使得节点间的干扰转换为多径信号。以两个 TRP 在相同的资源发送感知信号为例，如图 18 所示，TRP1 配置 `SequenceID0`，产生感知信号序列 0；TRP2 配置 `SequenceID0`，产生感知信号序列 0。假设 TRP1 和 TRP2 均为感知信号的接收端，则感知信号检测情况为：

- 对于 TRP1：检测出 $2\tau_1$ 和 $\tau_1 + \tau_2$ 两个多径信息，其中 τ_1 为 TRP1 到目标物体的传输时延， $(\tau_1 + \tau_2)$ 为 TRP2 到目标物体然后到达 TRP1 的传输时延；
- 对于 TRP2：检测出 $2\tau_2$ 和 $\tau_1 + \tau_2$ 两个多径信息，其中 τ_2 为 TRP2 到目标物体的传输时延， $(\tau_1 + \tau_2)$ 为 TRP1 到目标物体然后到达 TRP2 的传输时延。

相应的，感知服务器收到 TRP1 和 TRP2 上报的两个多径信号后，需要识别出双基传输时延 $(\tau_1 + \tau_2)$ 并加以利用。由于 TRP1 和 TRP2 上报的 $(\tau_1 + \tau_2)$ 数值相同，因此从理论上感知服务器可以有效识别出双基传输时延 $(\tau_1 + \tau_2)$ 。

时频资源非正交（类型 2）复用方式的优点是各个发送节点之间发送信号没有相互干扰，但形成新的多径信号，需要感知服务器端进行加以识别和利用。

3.3.4. 多节点数据融合

对于多节点的数据融合，如果各感知节点只感知结果的方法，好处是可以简化上报测量量，SF 处理过程相对简单，缺点是在处理过程中损失了一些信息，感知性能提升有限，这种方法适用于对感知结果精度要求不高的场景，比如感知过程的粗扫描阶段。若直接上报感知原始数据，如接收信号或原始信道信息，可以提高感知结果精度，代价是增加上报开销和

SF 的处理复杂度，这种上报复杂度会随着信道的维度扩展的增加（如：距离维、速度维、角度维）而产生倍数级的上报开销。因此需要在上报数据的有效信息量和上报开销之间进行权衡。一个可选的方式是额外上报中间数据即部分信道信息来提升感知性能。

如图 19 所示，3 个 TRP 收发感知信号（以自发自收为例）。首先各个 TRP 对感知信号进行测量并上报时延、角度、速度等中间测量数据以及部分信道信息给感知功能。随后感知功能融合各 TRP 上报的时延、角度、速度等测量量，获取感知目标的一个粗略估计位置，在其附近生成搜索网格，如图 19 所示，并根据部分信道信息构造联合代价函数以及在搜索网格以网格的步长进行搜索，最终获得更精确的感知目标位置、速度、角度等感知参数。

$$\min_{x_s, y_s} \sum_{p=1}^P \left\{ \sum_{k=1}^K |H_S^t(k, x_s, y_s) - S_t^p(k)|^2 + \sum_{m=1}^M |H_S^o(m, x_s, y_s) - S_o^b(m)|^2 \right\}$$

其中， $H_S^t(k, x_s, y_s)$ 和 $H_S^o(m, x_s, y_s)$ 分别表示根据搜索位置 (x_s, y_s) 构造出的频域信道响应和空域信道响应， $S_t^p(k)$ 和 $S_o^b(m)$ 分别表示经过处理后的频域部分信道信息和空域部分信道信息，由各节点上报获得，P、K、M 分别表示基站数、子载波数、天线数。

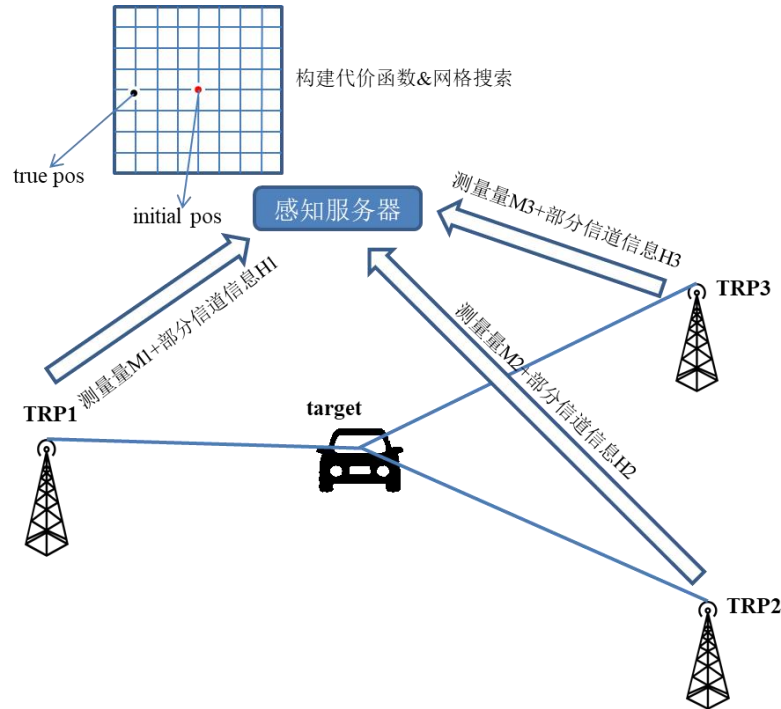


图 19 多节点协作感知示意图

上面所描述的部分信道信息，是指对原始信道冲击响应进行一些预处理，如取窗操作，一方面去除信道中的一些干扰，另一方面尽可能保留信道冲击响应的有用信息；或者进行多维度信道的合并，得到部分信道响应，其目的是保留大部分信道信息，同时减少上报开销。

- 对于单维信道响应，如频域信道响应，将其表示为 $H(k)$ ，可以去除一些无关径的影响，得到只包含感知目标的信道响应，同样单维时域信道响应或者单维空域信道响应也可

以采用类似的过程。

- 对于二维信道响应，通过二维取窗去除干扰，并考虑充分利用不同域间的关联性，进行信道响应合并，由二维倍乘的上报量，简化为二维相加的上报量。如：对于 N 个频域资源、 M 个符号资源的二维信道响应，经过信道合并后上报量变为 $M+N$ ，而不是原始的 $N*M$ 。

- 对于三维信道响应，如时-频-空域信道响应，对三维信道进行合并，由三维信道倍乘的上报量，简化为三维相加的上报量。如：对于 N 个频域资源、 M 个符号资源、 P 个接收天线的三维信道响应，经过信道合并后上报量变为 $M+N+P$ ，而不是原始的 $N*M*P$ 。需要说明的是需要通过频域（不同子载波）和时域（不同符号）的合并，得到空域的部分信道响应；通过对空域（不同天线）和时域（不同符号）的合并，得到频域的部分信道响应；通过对空域（不同天线）和频域（不同子载波）的合并，得到时域的部分信道响应。

4. 通感无线流程增强

4.1. 通感模式与流程映射关系

感知信令交互可根据参与感知的网元的不同，分为如下四种方式：SF 和 gNB 信令交互、gNB 和 gNB 信令交互、SF 和 UE 信令交互、gNB 和 UE 信令交互、UE 和 UE 信令交互。不同感知模式与三种网元（SF, gNB, UE）间交互的需求关系汇总如表 3 所示：

表 3 不同感知模式与网元间交互的需求关系

	gNB 自发自收	gNB A 发 B 收	UE 发 gNB 收	gNB 发 UE 收	UE 自发自收	UE A 发 B 收
SF-gNB	√	√	√	√	√	√
gNB-gNB	√	√	√	√	×	×
SF-UE	×	×	√	√	√	√
gNB-UE	×	×	√	√	√	√
UE-UE	×	×	×	×	√	√

对于六种感知模式而言，虽然涉及的网元交互可能各不相同，但是感知流程基本相同，一般分为三个步骤：感知能力上报→感知测量配置→感知测量上报。感知能力上报通常作为感知流程中的第一个步骤，其作用是上报 UE/gNB 支持的感知模式以及与感知信号处理相关

的能力，从而帮助 SF/gNB（在没有网络参与的 UE A 发 B 收模式中为感知管理终端）确定使用合适的感知模式以及感知资源。感知测量配置作为感知流程中的第二个步骤，其目的在于 UE/gNB 收到 SF 发送的感知需求之后，可根据感知需求确定感知资源的分配，因此该流程在上述四种交互方式中均有体现。在空口资源相关的感知测量配置流程中，gNB 作为必须要参与的网元负责空口资源的分配，因此该流程存在于 SF 和 gNB，gNB 和 gNB 以及 gNB 和 UE 的交互过程中。而非空口资源相关的感知配置可能由 SF 和 UE 直接交互。感知测量上报是感知流程中的最后一个步骤，其目的在于将收集到的感知测量数据上报给 SF，gNB 或者感知管理终端，在不同的感知模式中上报的网元可是 UE/gNB。因此，感知基本流程对应于在不同的感知模式中应用于不同的网元交互流程中，如表 4 所示。

表 4 不同感知模式、基本流程与网元间交互的需求关系

	gNB 自发 自收	gNB A 发 B 收	UE 发 gNB 收	gNB 发 UE 收	UE 自发自收	UE A 发 B 收
SF-gNB	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置； gNB 感知测量上报	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置； gNB 感知测量上报	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置； gNB 感知测量上报	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置
gNB-gNB	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置； gNB 感知测量上报	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置； gNB 感知测量上报	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置； gNB 感知测量上报	gNB 感知能力上报； gNB 感知测量配置；	×	×
SF-UE	×	×	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置；	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置；	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置；

				UE 感知测量上报	UE 感知测量上报	UE 感知测量上报
gNB-UE	×	×	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置
UE-UE	×	×	×	×	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置； UE 感知测量上报	UE 感知能力上报； UE 感知测量配置； UE 感知测量上报

4.2. 流程概述

为实现感知业务过程，无线流程涉及的网元包括 SF、gNB 和 UE。相应的，每个网元提供的功能如下：

SF 可提供如下功能：

- 感知 QoS 指标转换为无线空口感知的 KPI、确定参与感知的网元、确定感知模式的功能。
- 确定感知上报参数量（如：经过 FFT 的变换后的数据、信道冲激响应、多普勒、传输时延、距离、角度值、速度值）。
- 为参与协作感知的多个网元，指示感知资源。
- 感知结果的解算（根据上报量，确定感知结果）。

gNB 可提供如下功能：

- 感知 QoS 指标转换为无线空口感知的 KPI、确定参与感知的网元、确定感知模式的功能。
- 根据空口感知 KPI 参数，确定感知资源。
- 将感知资源指示给感知接收节点/发送节点的 gNB（或者指示给 SF，由 SF 指示

给相应的 gNB)。

- 将感知资源指示给感知接收节点/发送节点的 UE。
- 感知信号的发送，或/和接收以及接收感知信号的处理。

UE 可提供如下功能：

- 确定感知资源。
- 感知信号的发送，或/和接收以及接收感知信号的处理。
- 感知结果的解算（根据测量量，确定感知结果）。（备注：对于基于 UE 的感知场景）。

另外，在网元相关的接口流程中，支持感知协作流程，支持由 6 种基本感知模式组合的融合感知模式。

感知的基本流程如图 20 所示：

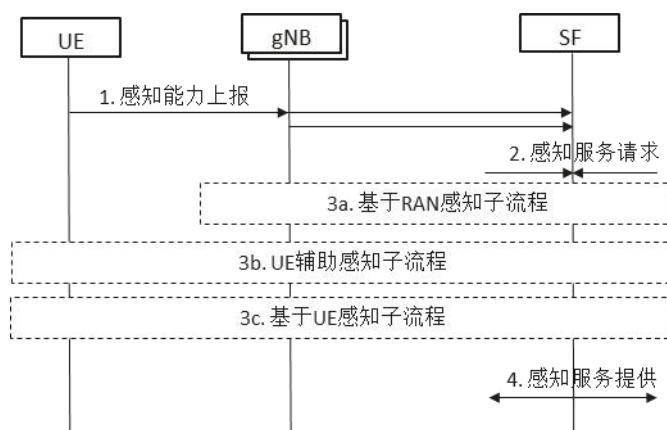


图 20 感知业务基本流程

在该流程中，所有感知服务（包括 AF 触发的或 UE 触发）的请求会发送到 SF，其中 SF 可能部署于核心网，也可能部署于 RAN 侧（如基站）。SF 会决定使用什么样的感知模式完成此次感知服务请求，并最终将感知服务结果提供给相应的请求者。其中，基于 RAN 的感知流程用于基站自发自收模式、基站 A 发 B 收模式，UE 辅助的感知子流程用于终端发基站收模式和基站发终端收模式，基于 UE 的感知子流程用于终端自发自收模式和终端 A 发 B 收模式。

根据以上分析，不同感知模式的相关感知流程示意如下：

- 基站自发自收模式，相关感知子流程如图 21 所示：

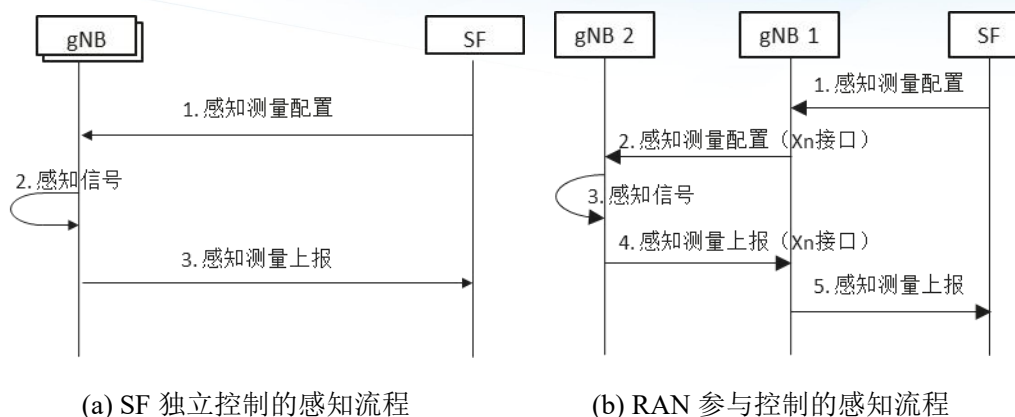


图 21 基站自发自收模式感知流程示意图

- 针对基站 A 发 B 收模式，相关感知子流程如图 22 所示：

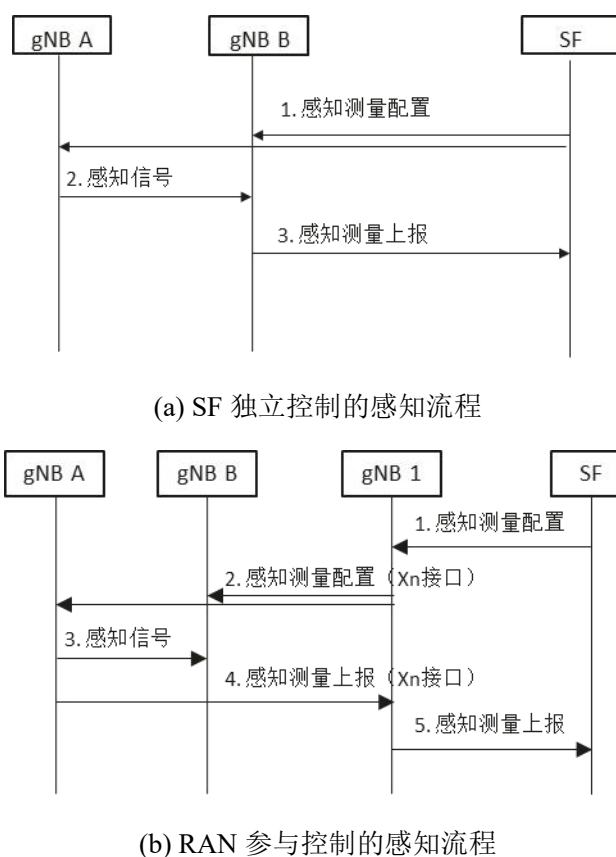
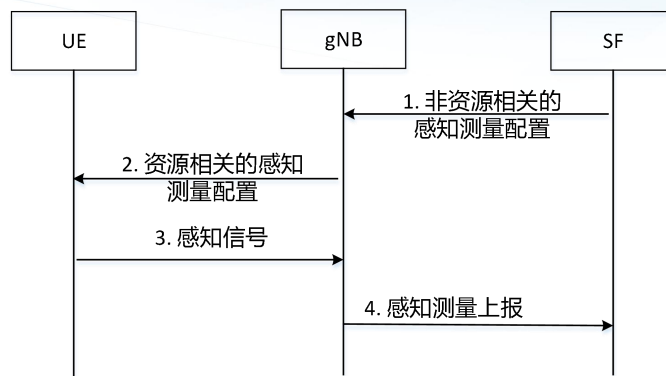


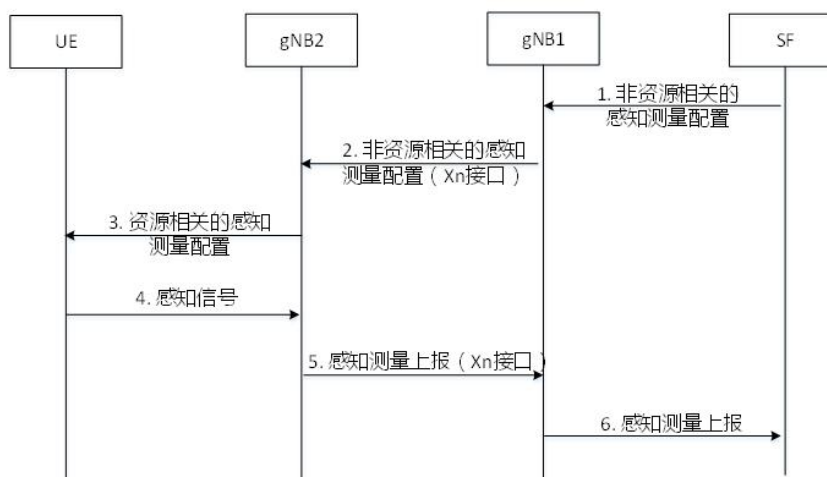
图 22 基站 A 发 B 收感知流程示意图

注：该示意图中的 gNB1 与 gNB A 和 gNB B 中的任一可以为同一个 gNB。

- 针对终端发基站收模式，相关感知子流程如图 23 所示：



(a) SF 独立控制的感知流程

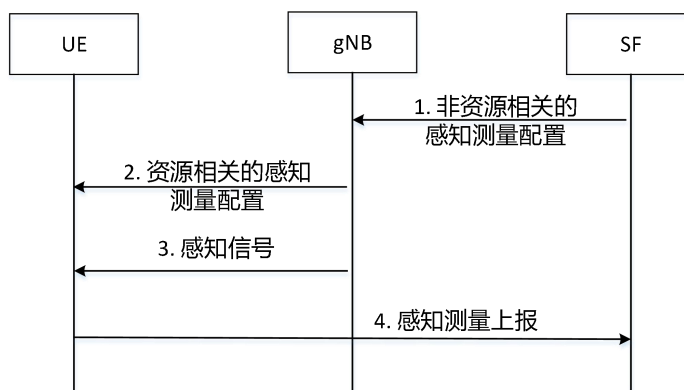


(b) RAN 参与控制的感知流程

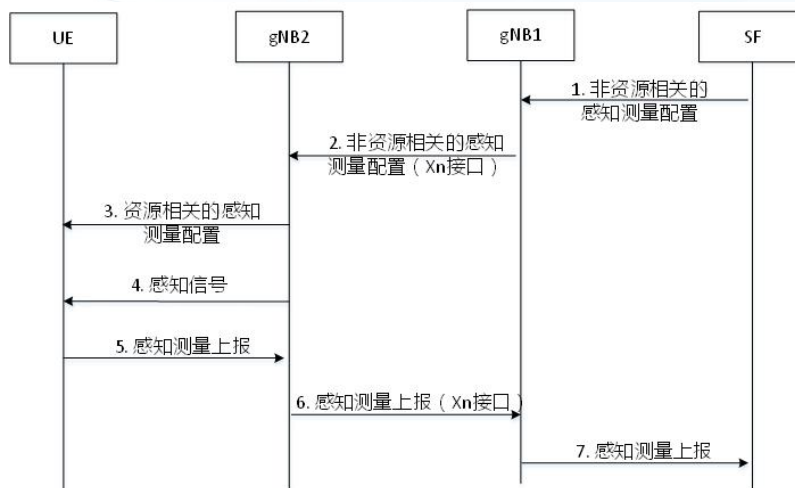
图 23 终端发基站收模式感知流程示意

注：该示意图中的 gNB1 与 gNB2 可以为同一个 gNB。

■ 针对基站发终端收模式，相关感知子流程如图 24 所示：



(a) SF 独立控制的感知流程



(b) RAN 参与控制的感知流程

图 24 基站发终端收模式感知流程示意

- 针对终端自收自发模式，在终端有网络覆盖场景中，相关感知子流程如图 25 所示：

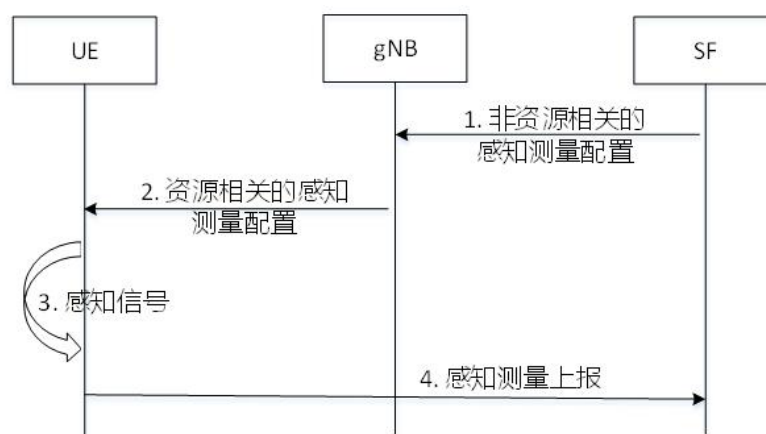


图 25 终端自发自收模式感知流程示意

注：对于无网络覆盖场景的相关感知子流程参考《5G-Advanced 通感融合空口技术方案研究报告》章节 4.5 的描述^[1]。

- 针对终端 A 发 B 收模式，在终端 A 和终端 B 均有网络覆盖场景中，相关感知子流程如图 26 所示：

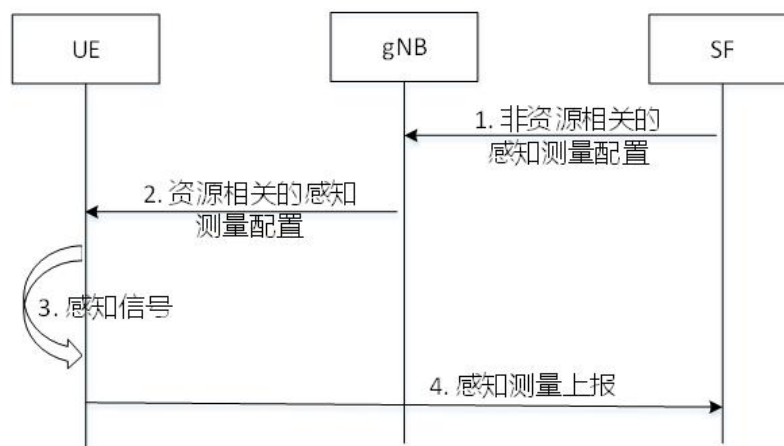


图 26 终端 A 发 B 收模式感知流程示意

注：对于无网络覆盖场景的相关感知子流程参考《5G-Advanced 通感融合空口技术方案研究报告》章节 4.5 的描述。

4.3. SF-gNB 感知流程

在 SF 和 gNB 交互的基本流程中，大致包括三个流程：感知能力上报流程、感知测量配置流程和感知测量上报流程，如图 27 所示。

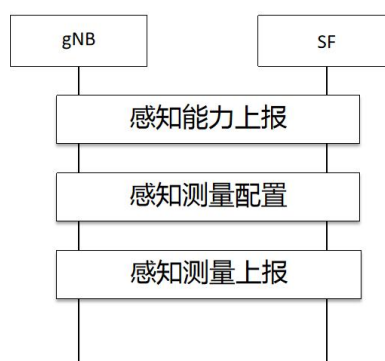


图 27 gNB 和 SF 交互的基本流程

SF 获得 gNB 的感知能力、UE 的感知能力并结合 AF 的业务需求来选择感知模式、选择合适的 gNB 等。在 gNB 自发自收模式、gNB A 发 B 收模式、UE 发 gNB 收模式、gNB 发 UE 收模式都需要 gNB 上报感知能力。

感知测量配置既包括空口资源相关的配置，也包括非资源相关的配置。其中空口资源相关的配置包括测量信号的配置，即信号的时频资源配置信息。由于基站负责空口资源调度，因此 UE 空口资源相关的配置由基站负责。而非资源相关的配置主要是感知流程相关的配置，

包括感知模式选择、收发角色确定、上报模式等配置信息，可由 SF 或 gNB 根据感知服务需求决定并发送给基站或终端。

SF 或 gNB 向 gNB 发送感知测量配置，用于 gNB 的感知测量。在 gNB 自发自收模式、gNB A 发 B 收模式、gNB 发 UE 收模式、UE 发 gNB 收、UE 自发自收（覆盖范围内）、UE A 发 B 收（覆盖范围内）需要 SF 或 gNB 向 gNB 发送非空口资源的感知测量配置。而在 UE 发 gNB 收模式，网络参与的 UE 自发自收以及 UE A 发 B 收模式，SF 或 gNB 需要为 gNB 提供用于资源配置的信息（比如 QoS），gNB 可能需要向 SF 上报 gNB 给 UE 指示的空口的测量配置。

gNB 向 SF 进行感知测量上报，是指 gNB 获得的 3GPP 感知测量数据上报给 SF。对于 gNB 自发自收模式、gNB A 发 B 收模式、UE 发 gNB 收模式三种模式，gNB 对无线信号进行处理获得 3GPP 感知测量数据，并将 3GPP 感知测量数据上报给 SF。而对于 UE 自发自收、UE A 发 B 收以及 gNB 发 UE 收的场景，gNB 仅负责管理和分配空口资源，并不作为感知节点进行相关感知信号的接收和汇聚，3GPP 感知测量数据的传输对于 gNB 是透明的。

4.3.1. 感知能力上报

感知能力上报流程的主要目的是让 SF 掌握 gNB 的感知能力，以便于 SF 决定感知节点 gNB 以及相关的配置。基站的感知能力可能包括如下内容：

- 支持的感知模式，如 gNB 自发自收模式，gNB A 发 B 收模式、UE 发 gNB 收模式、gNB 发 UE 收模式、UE 自发自收（覆盖范围内）、UE A 发 B 收（覆盖范围内）；
- gNB 自发自收模式中的“发”和“收”的能力；
- gNB A 发 B 收模式中的“发”和“收”的能力；
- UE 发 gNB 收模式中的 gNB“收”的能力；
- gNB 发 UE 收模式中的 gNB“发”的能力；
- UE 自发自收（覆盖范围内）、UE A 发 B 收（覆盖范围内）中的资源配置能力；
- 每种支持的感知模式下的感知精度，例如，感知距离、距离分辨率、感知的速度、速度分辨率、感知角度、角度分辨率、感知时延等；
- 支持的感知功能，如感知控制功能、数据预处理功能、感知结果计算等。

4.3.1.1. gNB 主动能力上报

在 gNB 主动感知能力上报过程中，gNB 可周期性地向 SF 发送感知能力上报消息，此消息中可包括 gNB 不同带宽配置下支持的感知距离精度、感知距离分辨率、感知速度精度、感知速度分辨率以及感知时延等能力信息，其流程示意如图 28 所示。

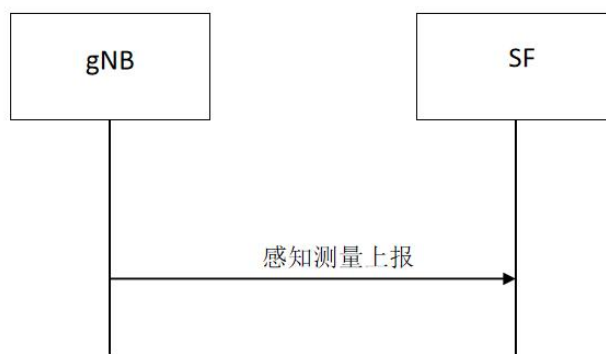


图 28 gNB 主动上报感知能力示意图

4.3.1.2. SF 请求 gNB 能力上报

在 SF 请求感知能力上报过程中，SF 从 AF 或 UE 获知感知需求后，需要寻找符合感知需求或者可执行相关感知功能的 gNB 或 UE。因此，SF 可先向 gNB 发送感知能力请求消息，此消息中包括 gNB 的能力特征列表（例如，支持的感知模式、感知精度等）。gNB 收到感知能力请求消息后，gNB 可根据能力列表向 SF 发送感知能力上报消息，消息中包含的内容就是与能力特征列表所对应的 gNB 感知能力信息，其流程示意如图 29 所示。

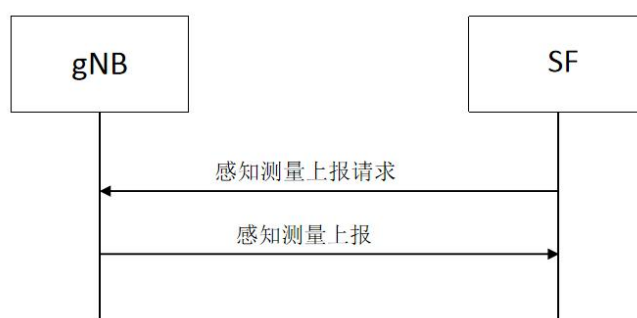


图 29 SF 请求 gNB 感知能力示意图

SF 根据 gNB 的感知能力、UE 的感知能力，感知需求等信息来选择感知方式、感知参与的基站或 UE。一旦选择 gNB 作为感知信号发送网元后，SF 可确定应该发送的感知测量配置参数等信息。

4.3.1.3. OAM 管理 gNB 感知能力

相比于 gNB 和 SF 显式地交互 gNB 支持的感知能力，SF 和 gNB 还应支持通过 OAM 管理 gNB 的感知能力。考虑到上文提及的 gNB 支持的感知能力中的全部或部分能力项可以为静态的感知能力，因此，gNB 也可以不通过接口消息显式地上报 gNB 是否支持上述能力项，SF 可以基于 OAM 获取 gNB 的相关感知能力。

4.3.2. 感知测量配置

感知测量配置流程的目的是在确定 gNB 感知能力之后，SF 可选择合适的感知方式和感知方法执行 AF/UE 要求的感知业务，也就是 SF 向 gNB 发送所选感知方法的相关感知测量配置。在该测量配置中，SF 可能提供如下信息给 gNB：

- 感知模式：gNB 自发自收、gNB A 发 B 收、gNB 发 UE 收、UE 发 gNB 收、UE 自发自收（覆盖范围内）和 UE A 发 B 收（覆盖范围内）；
- 协作设备信息：SF 除了向 gNB 提供相应的感知模式信息，还需要提供相应的执行感知任务的 UE 信息或 gNB 信息；
- 在对应感知模式下的角色“收”、“发”、“收&发”；
- 感知的 QoS 需求，如感知精度要求、时延要求等；
- 感知测量数据上报模式，如周期性上报、事件上报、事件触发的周期性上报等（对于需要接收感知信号的 gNB）；
- gNB 发送测量信号的配置，根据感知模式比如 gNB 自发自收、gNB A 发 B 收和 gNB 发 UE 收，推荐 gNB 发送测量信号的配置；
- gNB 接收测量信号的配置，针对 gNB A 发 B 收模式，需要指示 gNB 作为“收”角色的测量配置。

另外，当 gNB 具有感知控制功能的情况下，SF 可以向 gNB 提供用于感知控制的相关信息，用于 gNB 选择合适的感知方式和感知测量配置。在该情况下，SF 可能提供如下信息给 gNB：

- 感知的 QoS 需求，如感知精度要求、时延要求等；

4.3.3. 感知测量上报

感知测量上报流程目的是在 gNB 完成感知方法配置后，进行相应的测量，并且将感知测量数据进行上报。不同感知模式下所需要的感知测量数据可能不同，但是总体而言，感知测量数据可能包括多种层级，如下给出一种感知信息层级划分示例，不排除其他层级的划分：

- 感知结果：目标的距离、速度等，甚至比如车辆稽查信息、智慧路口和动态地图等。
- 感知中间数据：感知测量生成的点云信息等。
- 感知初步数据：时延扩展谱、多普勒谱、微多普勒谱、角度谱、信号强度谱等信息。上述谱信息包含了多条径或多种运动模式的信息，每一条径或每一个运动模式可通过独立的谱线或参数反映。
- 感知原始数据：接收信号或者原始信道信息（如接收信号或信道响应的复数结果、幅度和/或相位、I 路/Q 路及其相关运算结果）。

感知测量上报可分为 gNB 主动感知测量上报和 SF 请求感知测量上报。在 gNB 主动上报的模式下，gNB 在满足配置的阈值的情况下进行上报。

4.4. SF-UE 感知流程

感知能力上报流程的主要目的是让 SF 感知 UE 的感知能力，以便于 SF 决定感知节点 UE 以及相关的配置。UE 的感知能力可能包括如下内容：

- 支持的感知模式：
 - UE 自发自收模式中 UE 的“发”和“收”的能力；
 - UE A 发 UE B 收模式中 UE 的“发”和“收”的能力；
 - gNB 发 UE 收模式中的 UE 的“收”的能力；
 - UE 发 gNB 收模式中的 UE 的“发”的能力；
- 支持的终端角色：感知发送终端、感知接收终端、感知管理终端；
- 每种支持的感知模式下的感知精度：感知距离、距离分辨率、感知的速度、速度分辨率、感知角度、角度分辨率、感知时延等。
- UE 的类型：移动 UE、固定 UE
- UE 的位置

注：感知测量配置和感知测量上报流程可参见[1]。

4.5. UE-UE 感知流程

4.5.1. 感知能力上报

该过程主要用于感知执行终端向感知管理终端上报与感知相关的能力信息，感知管理终端根据感知执行终端的感知能力决定进一步的感知测量配置。UE 的感知能力可能包括如下内容：

- 支持的感知模式：UE A 发 UE B 收、UE 自发自收；
- 支持的终端角色：感知发送终端、感知接收终端、感知管理终端；
- UE 自发自收模式中的“发”和“收”的能力；
- UE A 发 UE B 收模式中的“发”和“收”的能力；
- 感知信息处理能力：获取某些感知信息需要终端额外的处理能力，因此，终端需要报告；
- 支持上报的感知测量数据类型，如感知原始数据、感知初步数据、感知中间数据和感知结果，以及感知测量数据类型对应的 KPI，如感知业务时延等。
- 每种支持的感知模式下的感知精度，例如，感知距离、距离分辨率、感知的速度、速度分辨率、感知角度、角度分辨率、感知时延等。

如图 30 所示，感知能力上报过程可支持基于请求的感知能力上报，感知能力请求消息中可携带 UE 感知能力列表来指示感知管理终端需要获知哪些相关的 UE 感知能力信息，进而感知执行终端可根据 UE 感知能力列表通过感知能力上报消息向感知管理终端上报对应的 UE 感知能力信息；感知能力上报流程也可支持周期性的 UE 主动感知能力上报，此时感知能力请求消息可省略。

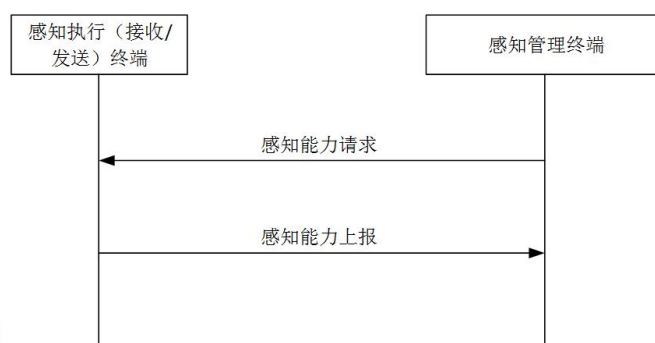


图 30 感知能力上报过程

4.5.2. 感知测量配置

感知测量配置流程主要包含与感知发送终端交互的感知参考信号请求与响应流程，以及向感知接收终端提供用于感知测量的辅助信息的感知辅助信息交互流程。

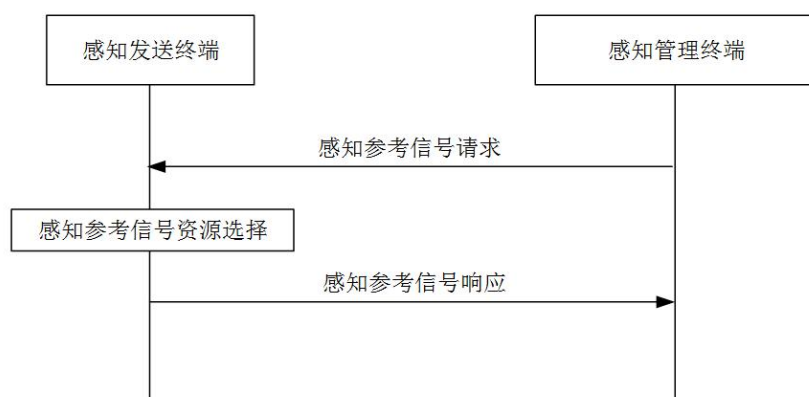


图 31 感知参考信号请求与响应流程

如图 31 所示，该过程主要用于感知管理终端向感知发送终端请求感知参考信号的发送。感知参考信号请求消息中，可进一步指示期望的感知参考信号传输资源信息（例如，周期和偏移等时域传输位置信息），为感知发送终端在执行资源选择的时候提供参考。也可指示辅助感知参考信号发送的信息，如空间关系信息、感知目标方向/位置信息等，用于帮助感知发送终端生成指向感知目标的波束。具体地，通过指示感知目标的方向/位置信息，感知发送终端能够根据自身位置和感知目标的方向/位置信息，决定感知参考信号发送的波束方向。更进一步，如果通感与 AIoT 相结合，可以通过指示 AIoT 标签的 ID 信息指示感知目标的方向/位置信息。

4.5.3. 感知业务连续性

在某些感知场景下，感知执行节点（感知发送/接收节点）或者感知目标可能处于移动状态。特别是对于有终端作为感知节点的感知模式下（如 UE 自发自收、UE A 发 UE B 收），感知业务可能会由于感知节点或者感知目标的移动而受到影响甚至中断。在一些感知场景中，需要保证感知业务的连续性。

终端的感知存在覆盖内（IC）和覆盖外（OOC）两种不同覆盖场景，但感知的覆盖和通信的覆盖往往不完全一致。通信主要依靠无线信号在收发机之间的直射径；而感知通常是依靠分析环境和/或环境中的目标对象的反射、散射的回波信号，获得对感知目标的特征信

息（如属性和状态等）。因此对于一个 gNB 来说，感知的覆盖范围通常会低于甚至远低于通信的覆盖范围，如图 32 所示。

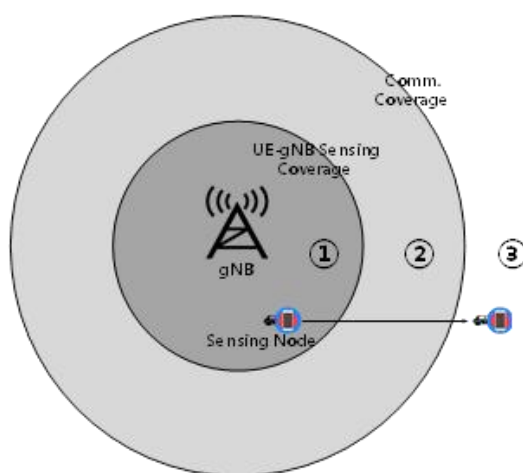


图 32 考虑感知/通信覆盖的 IC/OOC 范围

注：图是覆盖内和覆盖外切换的示意图，不代表真实覆盖区域

如果从感知模式角度看，根据能否执行 gNB 参与的感知模式，区域①属于 IC，区域②和区域③属于 OOC。区域①所有感知模式都可以支持，然而区域②和区域③由于 gNB 无法作为感知节点，仅支持 UE 自发自收或 UE A 发 UE B 收的两种感知模式。

如果从感知的控制角度看，感知的控制信令的传输实际上与通信的覆盖范围有关，因此，区域①和区域②属于 IC，区域③属于 OOC。不同区域的感知可以支持不同的感知交互流程，例如区域①和区域②可以提供基于 SF 控制的感知流程，而区域③仅能基于感知管理终端支持 UE 自主的感知流程。

因此，感知业务连续性需要考虑到 IC 与 OOC 场景之间在感知模式、感知控制两个角度上的差异。在感知发送/接收终端有正在进行的需要保证连续性的感知业务情况下，当感知发送/接收终端在 IC 和 OOC 之间移动时，需要考虑不同感知模式、感知流程的切换，以及感知业务控制节点（SF 和感知管理终端）的变更等。例如，在感知发送/接收终端从 IC 到 OOC 移动的时候，需要先将正在进行的感知业务切换至支持 OOC 场景的终端感知模式，并且进一步确定一个感知管理终端为控制节点；而当感知发送/接收终端从 OOC 到 IC 移动的时候，可以考虑将感知业务的控制由感知管理终端切换至 SF，并且进一步决定原 OOC 场景下的感知模式是否能够在 IC 场景下继续执行，或者变更感知模式。对于感知模式、感知控制节点的变更，可以考虑基于测量上报的方案，由 gNB/SF 控制；也可以考虑基于预配置的条件，由 UE 自主触发感知模式、感知控制节点的变更。

4.6. gNB-gNB 感知流程

4.6.1. gNB 和 gNB 接口功能概述

基站之间的协作可能涉及 gNB 和 gNB 之间的接口。

为保证感知服务在小区间的连续性或干扰协调等目的，相邻基站之间需要进行一定的信令交互，因此基站间的接口需要增强以支持感知相关的功能，具体包括：

- 目标追踪请求：当感知目标移动到当前基站的覆盖边缘时，当前基站可能提前请求相邻若干个基站追踪目标，并给相关基站提供感知目标的特征信息（如感知目标的形状、大小等），服务重要性信息（如感知服务的优先级等），当前位置信息、当前速度信息和建议感知配置等信息等，以保证感知服务连续性。

- 目标追踪响应：当相邻基站收到目标追踪请求时，其可以根据感知服务的重要性信息和自身网络情况同意或拒绝该请求。

- 感知 UE 信息请求：针对当前基站与相邻基站覆盖范围下的感知 UE 合作感知的场景，在当前基站无法在其覆盖范围内找到合适的感知 UE 时，可以向相邻基站请求感知 UE 信息，包括对感知 UE 的要求（如位置精度要求、感知能力要求和感知区域要求等）

- 感知 UE 信息响应：针对当前基站与相邻基站覆盖范围下的感知 UE 合作感知的场景，相邻基站向请求基站提供符合要求的感知 UE 信息。在存在多个符合条件的感知 UE 的情况下，如果是相邻基站负责选择感知 UE，相邻基站只需反馈所选感知 UE 的信息；如果是当前基站负责选择感知 UE，相邻基站需要把所有符合条件的感知 UE 信息反馈给当前基站。

- 感知配置协同信息：相邻基站的两个或多个基站合作感知，当前基站与相邻基站覆盖范围下的感知 UE 合作感知等场景需要基站间协同进行感知相关资源和流程配置。

- 感知测量数据请求：基站可向接收感知参考信号的基站请求感知测量数据。

- 感知测量数据上报：接收感知参考信号的基站可以将感知测量数据发给请求基站。

在 gNB 和 gNB 交互的基本流程中，大致包括三个流程：感知能力上报流程、感知测量配置流程和感知测量上报流程，如图 33 所示。



图 33 gNB 和 gNB 交互的基本流程

gNB 获得 gNB 的感知能力、UE 的感知能力来选择感知模式、选择合适的 gNB/UE 等。在 gNB 自发自收模式、gNB A 发 B 收模式、UE 发 gNB 收模式、gNB 发 UE 收模式都需要 gNB 交互感知能力。

gNB 向 gNB 发送感知测量配置，用于触发感知测量。感知测量配置主要包括空口资源相关的配置，其中空口资源相关的配置包括测量信号的配置，即信号的时频资源配置信息。由于基站负责空口资源调度，因此 UE 空口资源相关的配置由基站负责。感知测量配置也可以包括非资源相关的配置，比如感知模式选择、收发角色确定、上报模式等配置信息，可由 gNB 根据感知服务需求决定并发送给其他基站或终端。

gNB 向 gNB 进行感知测量上报，是指 gNB 获得的 3GPP 感知测量数据发送到另一个 gNB，主要用于 gNB 之间的感知测量结果汇聚。

4.6.2. 感知能力上报

感知能力上报流程的主要目的是让 gNB 获取其他 gNB 的感知能力，以便于 gNB 决定感知节点 gNB 以及相关的配置。基站的感知能力可能包括如下内容：

- 支持的感知模式，如 gNB 自发自收模式，gNB A 发 B 收模式；
- gNB 自发自收模式中的“发”和“收”的能力；
- gNB A 发 B 收模式中的“发”和“收”的能力；
- 每种支持的感知模式下的感知精度，例如，感知距离、距离分辨率、感知的速度、速度分辨率、感知角度、角度分辨率、感知时延等。

同时，相比于显式地交互 gNB 支持的感知能力，gNB 和 gNB 还应支持通过 OAM 管理 gNB 的感知能力。考虑到上文提及的 gNB 支持的感知能力中的全部或部分能力项可以为静态的感知能力，因此 gNB 也可以不通过接口消息显式地上报 gNB 是否支持上述能力项，gNB

可以基于 OAM 获取其他 gNB 的相关感知能力。

4.6.3. 感知测量配置

感知测量配置流程的目的是在确定其他 gNB 感知能力之后，gNB 可选择合适的感知方式和感知方法执行 AF/UE 要求的感知业务，也就是 gNB 向 gNB 发送所选感知方法的相关感知测量配置。在该测量配置中，gNB 可能提供如下信息给其他 gNB：

- 感知模式：gNB 自发自收、gNB A 发 B 收；
- 在对应感知模式下的角色“收”、“发”、“收&发”；
- 感知的 QoS 需求，如感知精度要求、时延要求等；
- 感知测量数据上报模式，如周期性上报、事件上报、事件触发的周期性上报等（对于需要接收感知信号的 gNB）；
- gNB 发送测量信号的配置，根据感知模式比如 gNB 自发自收、gNB A 发 B 收；
- gNB 接收测量信号的配置，针对 gNB A 发 B 收模式，需要指示 gNB 作为“收”角色的测量配置。

4.6.4. 感知测量上报

感知测量上报流程目的是在 gNB 完成感知方法配置后，进行相应的测量，并且将感知测量数据进行上报。不同感知模式下所需要的感知测量数据可能不同，但是总体而言，感知测量数据可能包括多种层级，如下给出一种感知信息层级划分示例，不排除其他层级的划分：

- 感知结果：目标的距离、速度等，甚至比如车辆稽查信息、智慧路口和动态地图等。
- 感知中间数据：感知测量生成的点云信息等。
- 感知初步数据：时延扩展谱、多普勒谱、微多普勒谱、角度谱、信号强度谱等信息。上述谱信息包含了多条径或多种运动模式的信息，每一条径或每一个运动模式可通过独立的谱线或参数反映。
- 感知原始数据：接收信号或者原始信道信息（如接收信号或信道响应的复数结果、幅度和/或相位、I 路/Q 路及其相关运算结果）。

感知测量上报可分为接收侧 gNB 主动感知测量上报和基于 gNB 请求感知测量上报。在 gNB 主动上报的模式下，gNB 在满足配置的阈值的情况下进行上报。

5. 感知融合技术

5.1. 感知和定位融合

在很多场景，感知和定位需要同时完成，如图 34 所示。发射信号的设备可能是基站（场景 a 和 b）或 UE（场景 c, d 和 e），接收参考信号的设备包括目标 UE（定位目标）和感知信号接收设备，其中感知信号接收设备可能是基站（场景 a 和 c）或 UE（场景 b, d 和 e）。目标 UE 接收到参考信号后生成定位测量报告，并发给服务网元（支持感知定位功能）；感知信号接收设备接收目标 UE 或其周围物体反射的信号后生成感知测量报告，并发给服务网元。

在发射设备和感知信号接收设备都是 UE 的情况下，也可能存在服务 UE/管理 UE（场景 e），此时感知信号接收 UE 和目标 UE 将测量报告发给服务 UE/管理 UE 进行处理，如图 1e 所示。服务网元或服务 UE 通过综合分析处理定位测量报告和感知测量报告得出更加准确的定位结果，并可以同时获得目标 UE 位置周围的环境情况（如有无碰撞危险等），从而实现定位感知一体化。

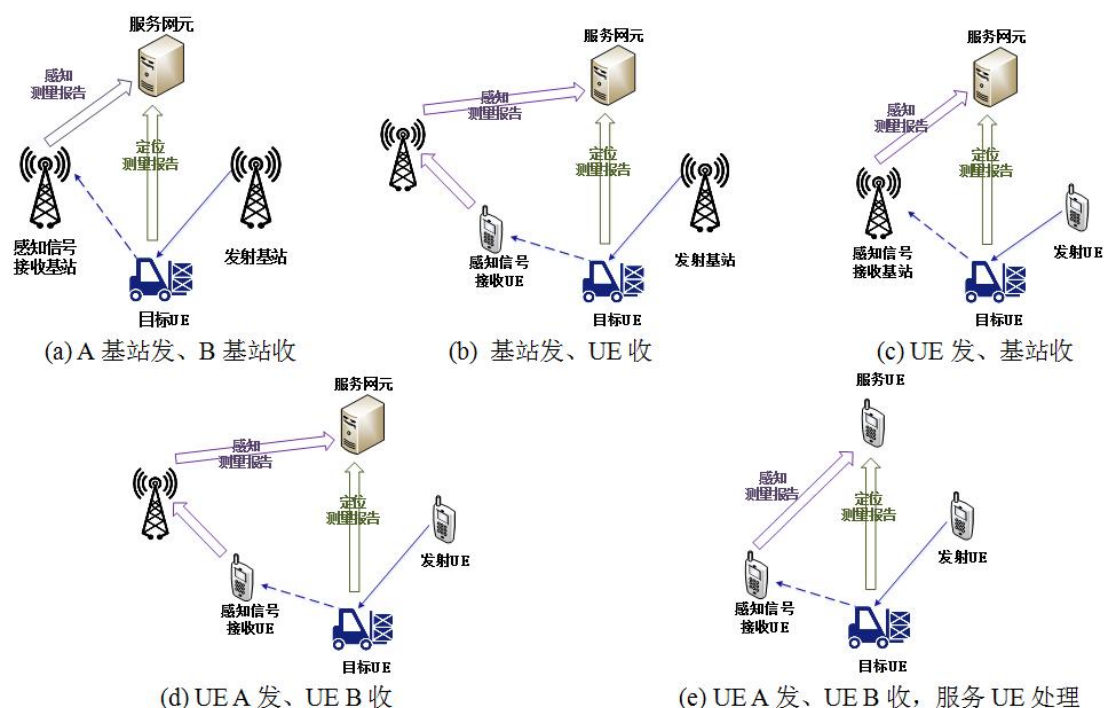


图 34 通感一体化场景

5.1.1. 参考信号融合

对于参考信号大致可以包括如下种类：

- RS for 通信定位
- RS for 波束管理，包括 SSB 以及 CSI-RS
- RS for 时频域追踪，也就是 TRS
- RS for CSI 测量，主要是 CSI-RS
- RS for RRM, 包括 SSB 以及用于移动性管理的 CSI-RS
- DMRS
- PTRS, 用于相位噪声以及多普勒估计
- 上行用于波束管理，信道测量的是 SRS
- 或许可以考虑新的 RS，用于感知

对于感知，可能需要对潜在目标进行波束扫描，也就是波束管理。另外，需要测距和测角，传统的 PRS 的图样就能很好地提供支持。对于感知的测速，或者多普勒估计，传统的 PTRS 在时域上密度很大，可以提供较高的估计精度。为了尽可能地利用已有的参考信号，一种方式是将多个种类的参考信号贯穿起来，共同用于感知。其中，多个串联的参考信号需要满足一定的条件，比如波束相同，如图 35 所示。在接收端可以进行联合信道估计。

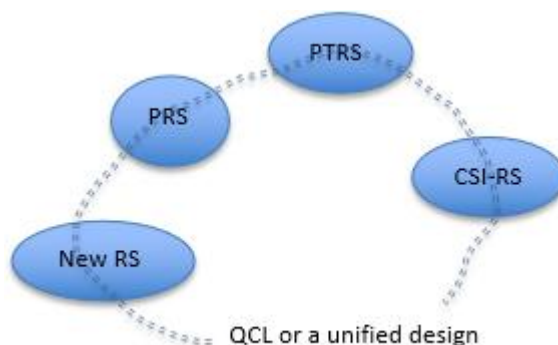


图 35 串联各自 RS 用于感知

如图 36 所示，一个感知参考信号的资源可以包含多个种类的参考信号资源。比如一个感知参考信号资源包括 { PTRS 配置 1, CSI-RS resource 3, PRS resource 4 } 这些串联的参考信号共同用于感知信道估计。

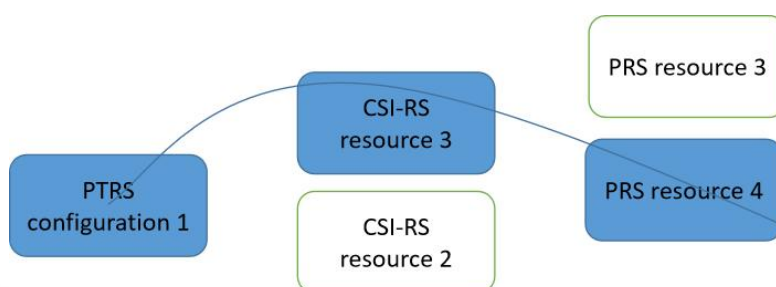


图 36 串联各自 RS 资源用于感知

5.1.2. 测量上报融合

如果是 SF 侧去计算感知最终结果，例如判断目标物的有无以及获取目标物具体位置，感知接收端需要将测量结果反馈给 SF。如图 37 所示，也就是说，感知测量端将多个测量单元上报给 SF，每个测量上报单元 MU（measurement unit）可以包含以下测量值：

- 测量参考信号资源信息
- 接收功率：RSRP , RSRPP (per path)
- 时延：到达时间（Timing of arrival ,TOA）或者 到达时间差（timing difference of arrival , TDOA），或者收发往返时间差（Rx-Tx timing difference , RTTD）等
- 速度：多普勒频偏值，或者速度值，或者相位变化量
- 角度：AOA, ZOA
- 置信度：测量量的可靠性
- 测量资源的时间戳，感知参考信号的资源配置信息等

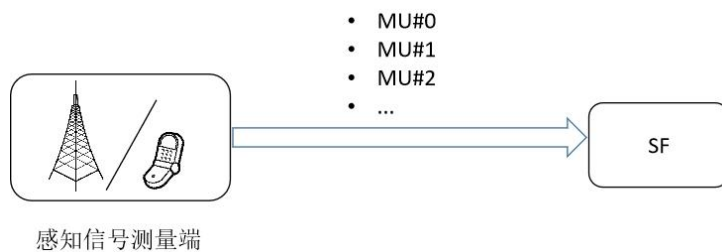


图 37 上报多个测量单元给 SF

可以看出，感知的测量上报内容和定位类似。如果是感知信号测量端计算感知最终结果，比如是一个 UE，也正在进行定位信号测量，并且感知信号和定位信号是相同的，如图 38 所示，一个 UE 对 PRS resource#0 和 resource#1 进行测量，同时用于感知和定位测量上报。此时感知和定位的测量上报可以融合在一起上报给网络侧，然后由网络层进行划分，分别传递给 SF 和 LMF。这样，空口测量上报占用的资源就减少了。如果，SF 和 LMF 是一个逻辑功能，那就只需要上报一次。

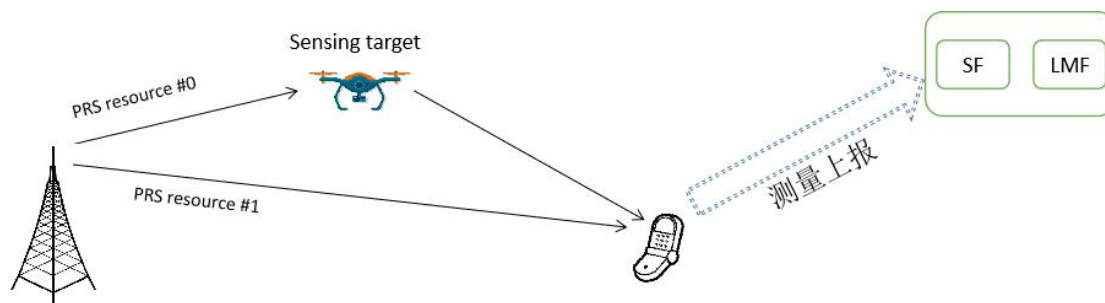


图 38 定位和感知结果联合上报

5.1.3. 参考 UE 辅助感知节点选择

在选择感知信号接收设备时，需保证其接收的从参考 UE 及其周围环境反射的感知信号质量足够好，从而保证感知性能的需求。此外，由于感知信号接收设备需要接收发射设备发射的参考信号，二者有必要建立连接以保持协同，因此感知信号接收设备需要在发射设备的通信范围之内，尤其是当感知信号接收设备是 UE 时，需要通过 UE 发现等过程来选择符合条件的终端设备。因此，在感知信号接收设备的选择中，需综合考虑设备类型（基站或 UE）、与目标 UE 的距离和与发射设备的通信链路情况等因素。图 39 为信号发射设备为 gNB 时，选择感知接收 UE 的流程示意图。图 40 为信号发射设备为 UE 时，选择感知接收 UE 的流程示意图。

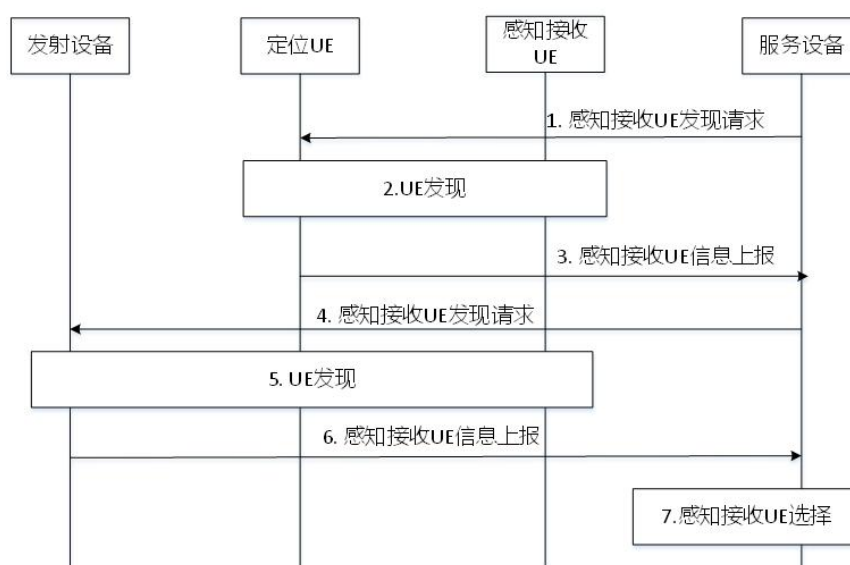


图 39 信号发射设备为 gNB 时，感知接收 UE 选择流程

- 步骤 1：服务设备（如 SF）向信号发射 gNB 请求感知接收 UE 的信息。同时，服务设备可以给信号发射 gNB 提供参考 UE 的位置，以及选择感知接收 UE 的要求等辅助信息，以帮助信号发射 gNB 选择合适的（候选）感知接收 UE。
- 步骤 2：信号发射 gNB 获得其覆盖范围内符合要求的候选感知接收 UE 信息，如距离参考 UE 较近的，与基站链路质量较好的 UE 等。
- 步骤 3：如果服务设备在步骤 1 中让信号发射 gNB 上报最终选择的感知接收 UE 信息，则信号发射 gNB 选择一个或多个最符合要求的感知接收 UE。
- 步骤 4：信号发射 gNB 将收集到的（候选）感知接收 UE 信息（如感知接收 UE 位置，感知能力，链路质量等信息）上报给服务设备。

- 步骤 5: 如果服务设备在步骤 1 中让信号发射 gNB 上报候选的感知接收 UE 信息, 则服务设备在候选的感知接收 UE 中选择一个或多个合适的感知接收 UE 参与感知任务。

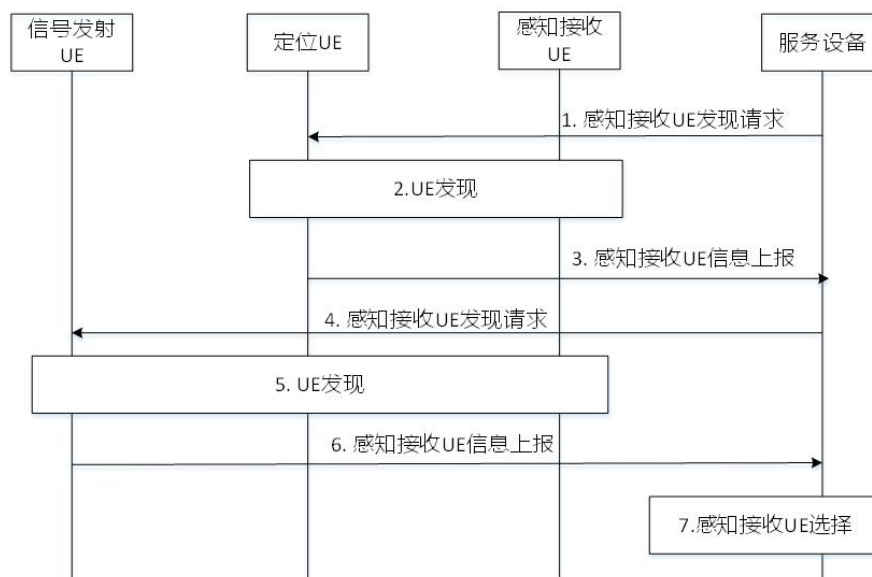


图 40 当发射设备是 UE 时, 感知接收 UE 的选择流程

- 步骤 1: 服务设备 (SF 或感知管理终端) 请求参考 UE 发现其周围的候选感知接收 UE。请求信息中需指示对感知接收 UE 的要求, 如感知能力需求, 所需数量需求等。
- 步骤 2: 参考 UE 通过 sidelink discovery 流程发现符合要求的候选感知接收 UE, 并收集所需的信息, 如候选感知接收 UE 的感知能力, 与参考 UE 之间的链路质量等信息。参考 UE 可以周期性地上报发现结果 (感知 UE 列表及测量的信号质量), 也可以在满足一定条件 (如某个感知接收 UE 的信号质量低于一定阈值或无法感知到感知接收 UE) 时再上报发现结果。
- 步骤 3: 参考 UE 将收集到的符合要求的候选感知接收 UE 信息上报给服务设备, 上报的信息中需包括候选感知接收 UE 的 ID, 感知能力等信息。
- 步骤 4: 为保证感知接收 UE 能收到信号发射 UE 的参考信号。服务设备请求信号发射 UE 发现候选感知接收 UE。请求信息中需指示对感知接收 UE 的要求, 如感知能力需求, 链路质量需求等。也可以在请求信息中包含定位 UE 提供的候选感知 UE 列表, 以便于发射设备进行针对性的搜寻。
- 步骤 5: 信号发射 UE 通过 sidelink 发现流程发现符合要求的候选感知接收 UE, 并收集所需的信息, 如候选感知接收 UE 的 ID, 与信号发射 UE 之间的链路质量等信息。

- 步骤 6：信号发射 UE 将符合要求的候选感知接收 UE 信息上报给服务设备。

如果步骤 4 的请求信息中包含了定位 UE 提供的候选感知接收 UE 列表，则上报的信息则指示出该 UE 是否能被信号发射 UE 发现。

- 步骤 7：服务设备综合定位 UE 和信号发射 UE 提供的信息进行感知接收 UE 的选择，以保证所选感知接收 UE 在定位 UE 的周围，且能接收到信号发射 UE 的参考信号。

5.1.4. 定位辅助感知节点选择

对于移动的 UE，其参与到感知中会使得整个感知比较复杂。一方面是因为 UE 的移动对估计感知目标的速度带来影响；另一方面基于角度、时延等特征确定位置的方法会需要依赖 UE 的位置。

在移动 UE 参与感知的场景中，SF 选择哪些 UE 参与感知，如果在不知道 UE 的位置的情况下就选择参与感知的 UE，很可能会造成空口资源的浪费，也不利于 UE 的节电。

在 UE 选择的时候，可以基于移动 UE 的位置来进行选择，基本的流程如图 41 所示。

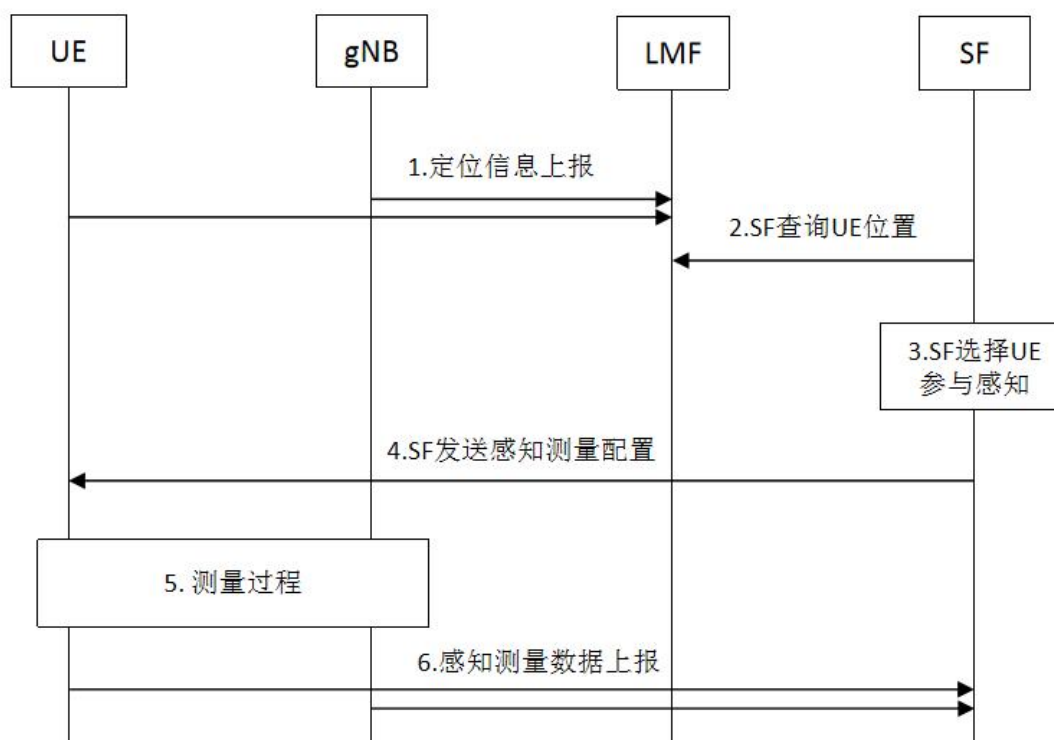


图 41 基于位置的节电选择

步骤 1：UE 或 gNB 向 LMF 上报定位信息。这里的定位信息可以是基于 NR 的定位技

术的上报测量。此外，UE 也可以上报其他方式获得的定位信息，比如蓝牙、WIFI、GNSS 等。

步骤 2：SF 向 LMF 查询 UE 的位置。SF 获得一组 UE 以及其对应的位置，还可以包括速度。

步骤 3：SF 根据获得的 UE 的位置选择合适的 UE 参与到感知测量过程中。

步骤 4：SF 向选择的 UE 发送感知测量配置。

步骤 5：基站和 UE 完成感知测量过程。感知模式可以是基站发 UE 收，或者 UE 收基站发。

步骤 6：在基站发 UE 收模式下，UE 上报感知测量数据。在 UE 发基站收模式下，gNB 上报感知测量数据。

注：步骤 1 和步骤 2 没有严格的先后顺序要求，步骤 1 可以在步骤 2 之前，也可以在步骤 2 之后。

5.2. 感知和 AI 融合

在通感中，AI 可通过提取感知参考信号或数据传输信号的特性完成感知业务。如图 42 所示，AI 模型可以根据无线传输特性推断感知目标的位置、速度等信息，其中具体的模型输出通常取决于实际的感知模式、感知场景及感知业务等。



图 42 感知的 AI 模型

5.2.1. AI 感知流程

感知流程涉及感知节点和感知服务器之间的信息交互，包括辅助数据以及感知数据请求与发送。

5.2.1.1. 辅助数据

辅助数据用于为感知节点发送感知辅助数据以协助 AI 感知，其请求与发送过程如图 43 所示：

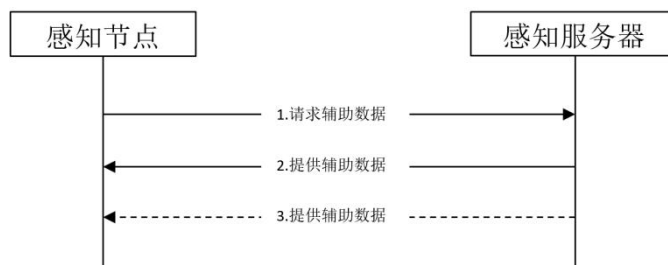


图 43 AI 辅助数据传输流程

步骤 1：感知节点向感知服务器发送 请求辅助数据 以获取感知辅助信息，此部分可包含与 AI 模型相关的配置信息请求。

步骤 2：感知服务器向感知节点发送 提供辅助数据 以提供感知辅助信息，此部分可回应包含感知节点的 AI 模型相关配置信息请求。

步骤 3：感知服务器向感知节点发送后续 提供辅助数据 以提供额外的辅助信息。

此外，感知辅助数据传输过程允许感知服务器向感知节点主动提供辅助数据。

5.2.1.2. 感知数据

在上述感知相关的信息交互中，感知数据请求与上报明确了与 AI 模型相关的上报内容，其一般流程如图 44 所示：

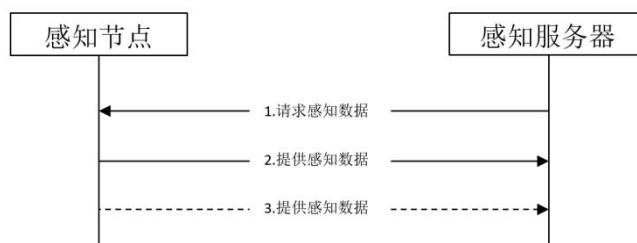


图 44 AI 感知数据传输流程

步骤 1：感知服务器向感知节点发送 请求感知数据 以获取感知数据。如果 AI 模型位于感知节点侧，则感知服务器可向感知节点请求 AI 模型的输出，如感知结果、感知中间量；如果 AI 模型位于感知服务器侧，则感知服务器可向感知节点请求 AI 模型的输入，如信道测量、点云数据等。

步骤 2：感知节点向感知服务器发送 提供感知数据 信息以提供感知数据。感知节点根据感知服务器的 AI 数据请求进行相应的感知数据上报。

步骤 3：感知节点向感知服务器发送后续 提供感知数据 信息以提供额外的感知数据。

同样，位置信息传递过程允许感知节点向感知服务器主动提供感知数据。

5.2.2. AI 感知架构

5.2.2.1. AI 感知输入

在非 AI 的感知方法中,感知测量上报会包含不同类型测量数据,如感知目标的 TOA, AOA, RSRP, 多普勒等信息。在这种情况下,不同感知业务的测量上报将有所差异。相比于非 AI 的感知方法, AI 可以在不同的感知服务中使用不同的模型。这些模型可根据 AI 模型、节点能力等选择不同等级的感知数据^[1]:

- L1 感知原始数据:接收信号或者原始信道信息(如接收信号或信道响应的复数结果,幅度和/或相位, I 路/Q 路及其相关运算结果)。
- L2 感知初步数据:时延扩展谱、多普勒谱、微多普勒谱、角度谱、信号强度谱等信息。上述谱信息包含了多条径或多种运动模式的信息,每一条径或每一个运动模式可通过独立的谱线或参数反映。
- L3 感知中间数据:感知测量生成的点云信息等。
- L4 感知结果:目标的距离、速度等,甚至比如车辆稽查信息,智慧路口和动态地图等。

上述四个等级的感知测量数据大小有较大差异, L1/L2 的数据量大于点 L3/L4 数据。而不同等级的感知测量数据对应感知接收节点不同的处理方式。

5.2.2.2. AI 感知输出

定位的一般目的是通过提取基站与 UE 之间无线信号的特征来确定 UE 的位置,如图 45 所示,其中 UE 负责接收和测量用于定位的下行定位参考信号和/或发送上行探测参考信号。



图 45 定位过程示意图

类似于定位,如图 46 所示,感知是通过接收和感知目标反射或散射的信号来确定其特征,如感知目标的位置、速度、形状等。



图 46 感知过程示意图

在此类应用中,感知过程包括对各类目标的检测和追踪,如人、车辆、动物、无人机和船舶等。感知场景包括道路/水路运输、室内追踪、智能农场等。AI 感知可根据 AI 模型的输出分

为两类：

辅助 AI 感知：AI 模型的输出为感知中间量，如感知节点的点云信息，即 L3 感知中间数据。

直接 AI 感知：AI 模型的输出为感知结果，如感知目标的位置、速度、轨迹等信息，即 L4 感知结果。

根据 AI 感知输出及 AI 模型位置的不同，可以考虑以下不同的 AI 感知架构。

5.2.2.3. UE 侧 AI 感知

UE 侧 AI 感知的模型如图 47 和图 48 所示：

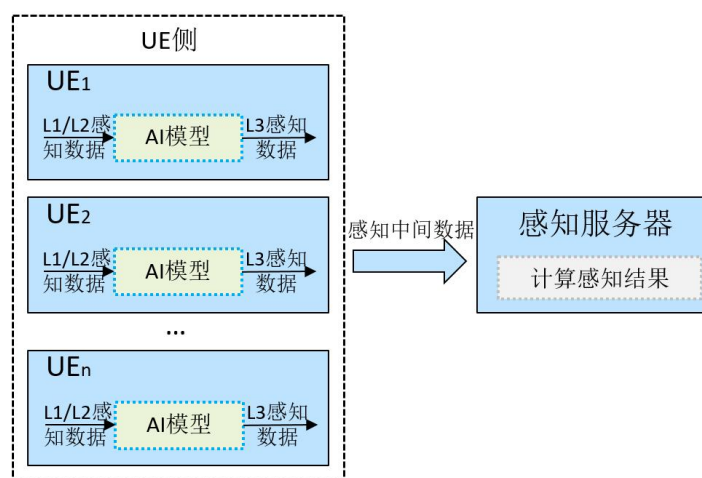


图 47 UE 侧 AI 感知架构：辅助 AI 感知

在辅助 AI 感知架构中，AI 模型的输入为 L1 感知原始数据或 L2 感知初步数据，输出为 L3 感知中间数据，多个 UE 将其 AI 输出的感知中间数据上报至感知服务器，感知服务器根据 UE 的上报感知数据计算最终的感知结果。

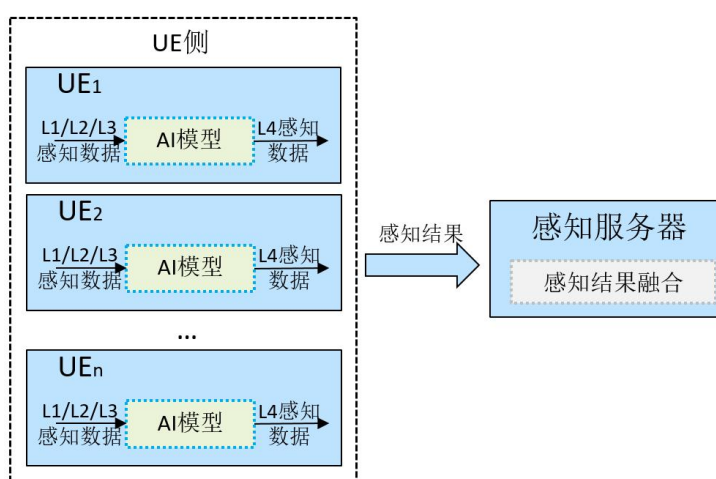


图 48 UE 侧 AI 感知架构：直接 AI 感知

在直接 AI 感知架构中，AI 模型的输入为 L1 感知原始数据、L2 感知初步数据或 L3 感知中

间数据，输出为 L4 感知结果，多个 UE 将其 AI 输出的感知结果上报至感知服务器，感知服务器可对不同 UE 的上报进行融合。但在 UE 侧 AI 感知架构中，UE 需有较为强大的计算能力对信道测量数据进行处理。

5.2.2.4. 基站侧 AI 感知

基站侧的 AI 感知可考虑以下两种情况，如图 49 和图 50 所示：

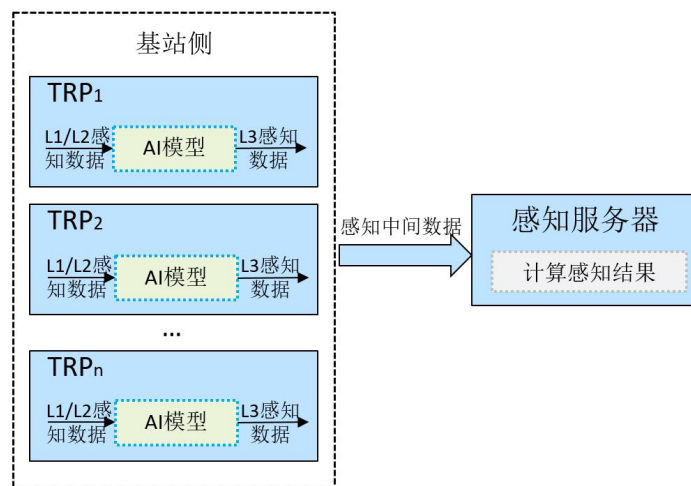


图 49 基站侧 AI 感知架构：辅助 AI 感知

在此架构中，模型输入为 TRP 侧的 L1 感知原始数据或 L2 感知初步数据，模型输出为 L3 感知中间数据，多个 TRP 将其 AI 输出的感知中间量上报至感知服务器，感知服务器根据不同 TRP 的上报计算最终的感知结果。

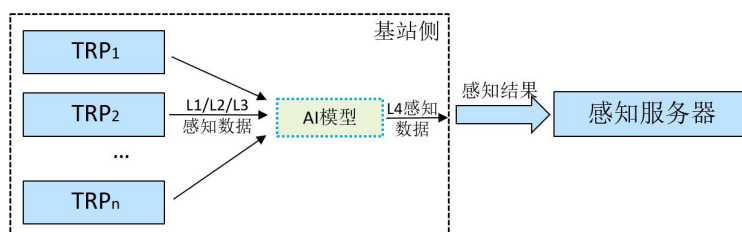


图 50 基站侧 AI 感知架构：直接 AI 感知

在此架构中，多个测量节点可将其结果上报至基站，基站侧 AI 模型的输入为多个 TRP 侧的 L1 感知原始数据、L2 感知初步数据或 L3 感知中间数据，模型输出为 L4 感知结果，基站可将其 AI 模型的输出上报至感知服务器。

5.2.2.5. 网络侧 AI 感知

服务器侧 AI 感知的模型如图 51 所示：

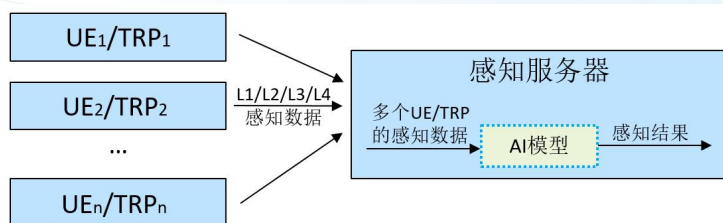


图 51 服务器侧 AI 感知架构

在此架构中，多个测量节点可将其感知数据如上报至感知服务器，感知服务器侧 AI 模型的输入为多个 TRP/UE 侧的 L1/L2/L3/L4 感知数据，模型输出为感知结果。在此方法中，如果模型输入为 TRP/UE 侧的 L1 感知原始数据、感知初步数据或 L3 感知中间数据，AI 模型可根据输入数据推理感知结果；如果模型输入为多个 TRP/UE 得出的 L4 感知数据，AI 模型可对不同 UE/TRP 的感知结果进行融合，得出最终感知目标的信息。

6. 其他技术

6.1. 感知信号设计

感知性能受感知信号参数的影响，例如，基于 OFDM 等间隔信号排布推导出最大无模糊距离 $R_{max} = \frac{c}{2N_f \Delta f}$ 以及最大无模糊速度 $v_{max} = \pm \frac{c}{4M_t \Delta f_c}$ ，可以看出感知信号频域间隔越小，距离无模糊范围越大，感知信号的发送周期越短，速度无模糊范围越大。为满足远距离高速场景的感知性能，感知信号的密集排布会损失通信性能。此时，采用互质间隔的感知信号设计能够克服上述不足，在满足感知性能的同时节省开销。

一种可实现的互质感知信号设计方案如图 52 所示，即在共同得到一个感知结果的一组感知信号内存在至少两个子组感知信号，子组内感知信号间隔是均匀的，子组间感知信号间隔是互质的。两个子组的感知信号可以采用或顺序或重叠的方式排布，顺序排布即其中一个子组感知信号整体排列于另一子组感知信号之后，重叠排布即两个子组的感知信号在时域或频域的范围是完全或部分重叠的，一种典型的重叠排布方式为嵌套排布，即一个子组的感知信号排列于另一子组的一个或多个信号间隔内。以时域排布方式为例进行仿真，结果如图 53 所示 可以看出采用互质间隔排布方式能够在相同开销下扩大无模糊范围，即采用 MUSIC 搜索时不会出现多个样值，混淆目标感知结果。

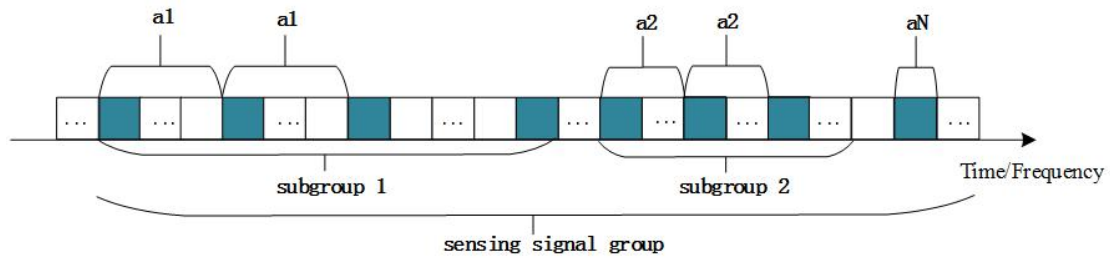


图 52 互质感知设计方案

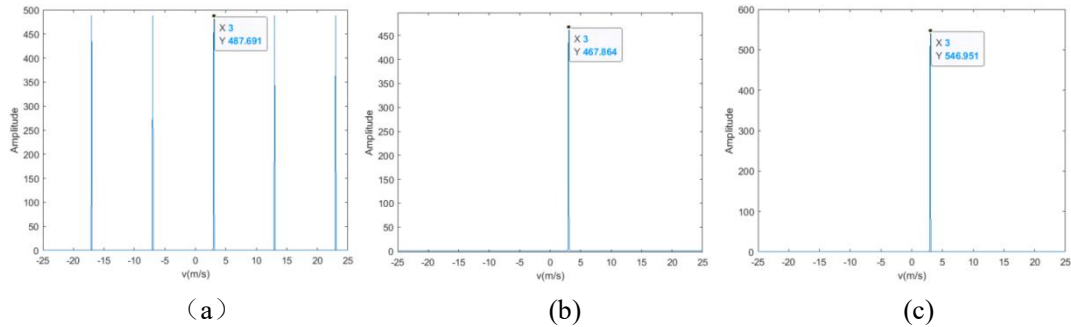


图 53 相同开销下不同排布方式性能 (a) 等间隔 (b) 互质-顺序排布 (c) 互质-重叠排布

进一步地，基于中国剩余定理，上述互质间隔排布方式存在低复杂度的接收方案便于工程实现，从而增强了该排布方式的可实施性。

6.2. 感知辅助通信

6.2.1. 潜在问题

感知辅助通信的场景包括^[2]：

- **基站和终端波束管理**：基于感知技术获取通信信道环境信息等可以进行波束预测，降低波束测量反馈开销并提升波束跟踪时效性。
- **信道估计增强**：终端发送的参考信号经过了周围环境的反射等到达基站，可以辅助基站感知获取通信信道的环境信息。同时，基站可以结合人工智能技术进一步预测信道状态信息，从而降低信道测量和反馈开销，提升通信系统频谱效率。
- **基站资源调度与优化**：基站可以根据感知无线环境获得的空口质量，终端位置以及环境干扰等信息，进一步优化自己的资源调度策略，进而提升网络服务质量，降低网络能耗。

感知辅助通信可以用于增强通信性能和频谱利用率。感知辅助通信对感知信息有时效性

要求，因此如何及时向基站提供感知信息成为一个待解决的问题。

6.2.2. 潜在解决方案

方案 1：感知信息上报核心网

为了节省信令开销，并且做到感知辅助通信，一种方案是基站可以请求 SF 将关于某个 UE 的感知结果给基站用于辅助通信的资源调度。在 SF 侧做完鉴权授权后，如果运行，可以将没有隐私问题的感知结果告知给基站。这种方式简单，对 RAN 侧空口影响较小。然而，如果 SF 在核心网侧，那么基站和 SF 的通信时效性会比较差。

方案 2：部分感知信息上报基站

为了节省信令开销，并且做到快速地感知辅助通信，另一种方案如下：

- 步骤 1：基站向 SF 请求某个 UE 相关的感知测量结果。请求的信息里可以包含 UE ID, 波束方向, 感知参考信号的资源索引（要求这些资源对应的测量结果），TRP ID, cell ID, 需要的测量上报类型等（比如是波束信息，时间，速度，还是功率等）；
- 步骤 2：SF 侧做鉴权授权，确认是否可以将 UE 的感知结果告知给基站；
- 步骤 3：SF 回应基站是否可以告知感知结果。请求回应信息里也可以包含一些细节信令，例如哪些感知结果可以告知给基站，哪些不行；
- 步骤 4：SF 请求 UE 直接将感知结果 set A' 上报给基站，为了时效性，可以在物理层上报，如图 54。请求的信息里可以包含，波束方向，感知参考信号的资源索引（要求这些资源对应的测量结果），TRP ID, cell ID, 需要的测量上报类型等（比如是波束信息，时间，速度，还是功率等）；
- 步骤 5a：UE 直接将感知结果 set A 上报给基站；这里注意的是，set A 和 set A' 有可能不完全一样，也取决于 UE 的上报资源，能力，等；基站可以利用这部分感知结果来辅助通信的调度用。
- 步骤 5b：由于 SF 在核心网侧，UE 还至少需要将感知结果告知给 SF，以计算感知结果。感知结果 set A 可以由基站转给 SF。

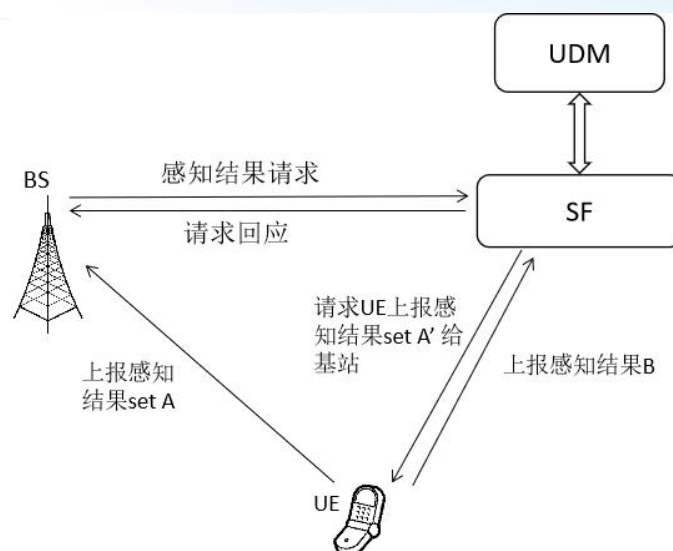


图 54 时效感知辅助通信示意图

7. 总结和展望

本研究报告在 IMT-2020 发布的《5G-Advanced 通感融合空口技术方案研究报告》进一步的展开了增强研究，涉及 RAN 通感架构、无线感知功能、通感无线流程，细化感知移动性管理及感知测量研究，完善 SF、gNB 以及 UE 间感知流程，并增加感知与定位及 AI 融合技术研究。

面向实际应用产业，基于基站的自发自收和自发他收协作感知正在部分区域开展一定规模的组网试验，并取得一定成效。其中，基于基站自发自收协作感知，无线空口采用感知和通信资源正交复用模式，设计单独的感知时隙，结合 SF-gNB 无线流程、多节点数据融合、感知切换等实现较大范围的连片感知覆盖。基站自发自收主要面临实际部署中与相邻通信站干扰问题以及非视距场景下感知盲区问题。基于基站自发他收协作感知，无线空口设计也采用单独的感知时隙，通感正交复用，相邻感知站之间分时收发以实现扩大协作感知范围，感知收发 gNB 之间受限于 LOS 或者环境中存在稳定的 NLOS 作为同步参考径；相比于基站自发自收协作感知，除了感知覆盖盲区，其面临干扰环境更复杂以及站间同步不稳定问题。为解决上述问题，在后续的研究中，可以考虑站间通感干扰测量管理机制针对组网干扰问题设计相应的干扰测量以及干扰规避方案。同时，结合多源感知、以及多模式感知融合等技术方案去增强感知覆盖和感知精度等性能。

面向标准化，目前 3GPP 基本完成了信道模型建模工作，后续将开展 5G-A/6G RAN 及 SA 相关技术方案标准研究工作。《5G-Advanced 通感融合空口技术方案研究报告》及本增

强研究报告对目前涉及的六种基本感知模式的物理层关键技术和接口展开了基础的研究,为即将开始的 5G-A 和 6G 通感标准化研究奠定了一定基础。后续可以结合标准化研究进一步对波形、多天线参数配置、感知控制及数据信道设计、不同通感复用方式下的感知信号设计、以及基站和 SF, SF 和 UE, UE 和基站之间的接口信令进行研究和定义,助力推动通感融合标准化进程。

8. 参考文献

- [1] 5G-Advanced通感融合空口技术方案研究报告[R], IMT2020(5G)推进组, 2024.
- [2] 5G-Advanced通感融合场景需求研究报告[R], IMT2020(5G)推进组, 2022.
- [3] 5G-Advanced通感融合网络架构研究报告[R], IMT2020(5G)推进组, 2024.
- [4] 感知信号处理研究报告[R], IMT2020(5G)推进组, 2025.

9. 附录

9.1. 术语和定义

术语	定义
感知发送端	TRP/UE 发送用于感知服务的感知信号, 感知发送端和感知接收端可以处于相同位置或者不同位置。
感知接收端	TRP/UE 接收用于感知服务的感知信号, 感知接收端和感知发送端可以处于相同位置或者不同位置。
感知目标	需要通过感知信号对其特性进行感知的物体或环境。
单基感知	进行感知的发送端和接收端属于同一个 TRP 或者 UE。
双基感知	进行感知的发送端和接收端不属于同一个 TRP 或者 UE
多基感知	对于一个感知目标, 通过多个感知发送端或/和多个感知接收端进行的感知
感知信号	基于 3GPP 无线空口, 用于感知目的的信号

9.2. 缩略词表

缩写词	英文全称	中文全称
AoA	Angle of Arrival	到达角
AI	Artificial Intelligence	人工智能
CFAR	Constant False Alarm Rate	恒虚警率
CDM	Code Division Multiplexing	码分复用
CSI-RS	Channel State Information - Reference Signal	信道状态信息参考信号
DMRS	Demodulation Reference Signal	解调参考信号
FDM	Frequency Division Multiplexing	频分复用
IC	In coverage	覆盖内
LMF	Location Management Function	定位管理功能
LOS	Line of Sight	视距
MU	Measurement Unit	测量单元
MUSIC	Multiple Signal Classification	多重信号分类
NLOS	Non-Line of Sight	非视距
OAM	Operations, Administration and Maintenance	操作、管理和维护
OOB	Out of Coverage	覆盖外
PRS	Positioning Reference Signal	定位参考信号
PTRS	Phase Tracking Reference Signal	相位跟踪参考信号
RCS	Radar Cross Section	雷达截面积
RD	Range - Doppler	距离 - 多普勒
RSRP	Reference Signal Receiving Power	参考信号接收功率
RSRPP	Reference Signal Receiving Power per Path	每径参考信号接收功率
RVA	Range - Velocity - Angle	距离 - 速度 - 角度
SA	System Architecture	系统架构
SF	Sensing Function	感知功能
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio	信号与干扰加噪声比
SRS	Sounding Reference Signal	探测参考信号
SSB	Synchronization Signal Block	同步信号块
TDM	Time Division Multiplexing	时分复用
TOA	Time of Arrival	到达时间
TDOA	Time Difference of Arrival	到达时间差
TRP	Transmission Reception Point	传输接收点

TRS	Time Reference Signal	时间参考信号
UE	User Equipment	用户设备
UDM	Unified Data Management	统一数据管理

10. 贡献单位

序号	单位名称
1	中兴通讯股份有限公司
2	中国信息通信研究院
3	华为技术有限公司
4	中国移动通信有限公司研究院
5	中国联合网络通信集团有限公司
6	中国电信集团有限公司
7	维沃移动通信有限公司
8	中信科移动通信技术股份有限公司
9	OPPO 广东移动通信有限公司
10	小米科技有限责任公司
11	联想集团
12	联发博动科技(北京)有限公司

IMT-2020（5G）推进组

地址：北京市海淀区花园北路 52 号 中国信息通信研究院

邮编：100191

邮箱：imt2020@caict.ac.cn

网址：<https://www.imt2020.org.cn/>