



NR 物理层设计 : NR MIMO

金佑善

3GPP TSG RAN WG1 副主席 (三星)

NR-MIMO 规范设计的注意事项

NR-MIMO 规格特点

NR-MIMO 的主要特性

- 使毫米波 (mmWave) 频谱上的蜂窝通信成为现实
 - 如果没有毫米波, ITU 的 5G 要求支持 20Gbps 的峰值速率就不可能实现
- 提升系统性能, 远超 LTE
 - ITU的5G要求是频谱效率达到LTE的3倍
- 为广泛的 5G 实现提供足够的灵活性
 - 考虑部署场景、网络实现、支持的频段等



更高频段

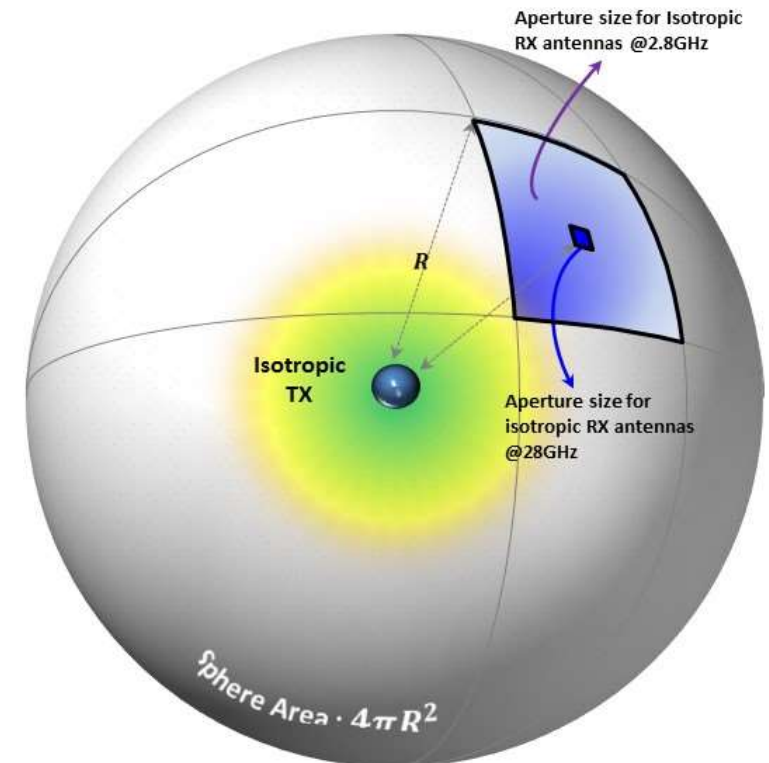
路径损耗与频率的平方成正比

$$\begin{aligned}
 P_{RX} &= P_{TX} G_{TX} G_{RX} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \\
 &= P_{TX} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \underbrace{\left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right)}_{\text{光圈尺寸}} \underbrace{\left(\frac{1}{4\pi R^2} \right)}_{\text{球形面积}} \\
 &= P_{TX} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(\frac{c^2}{4\pi \cdot \underbrace{f^2}_{\text{载频}}} \right) \left(\frac{1}{4\pi R^2} \right) \quad (C: \text{光速})
 \end{aligned}$$

2.8GHz 与 28GHz

	2.8GHz	28GHz
接收孔径尺寸	9.135厘米 ²	0.091厘米 ²
路径损耗 (R=1m)	-41.4分贝	-61.4分贝

-20dB



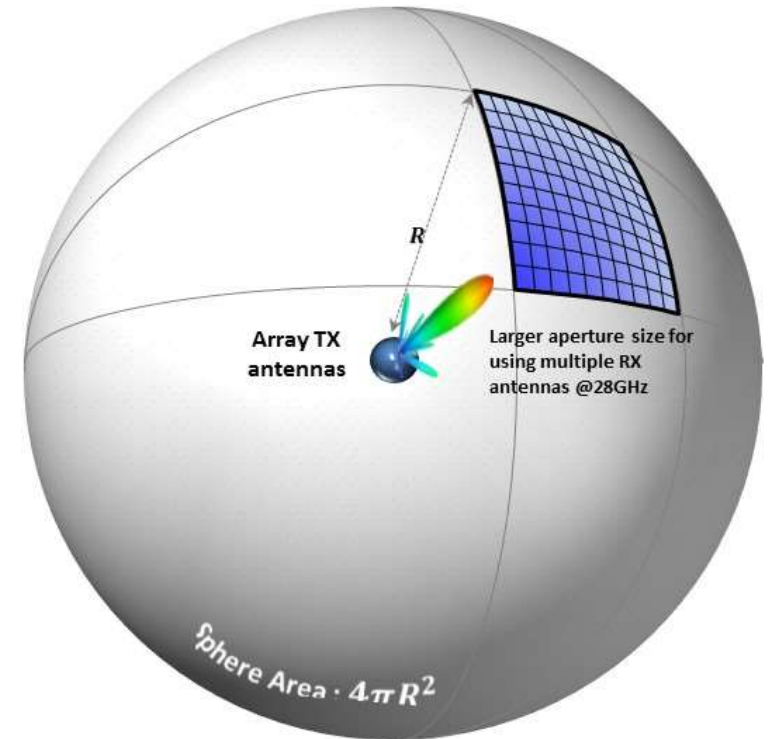
更高频段

较高频率的路径损耗可以通过以下方式克服
利用多天线

- 多个接收天线, 有效增加孔径尺寸
- 多个 Tx 天线来引导能量

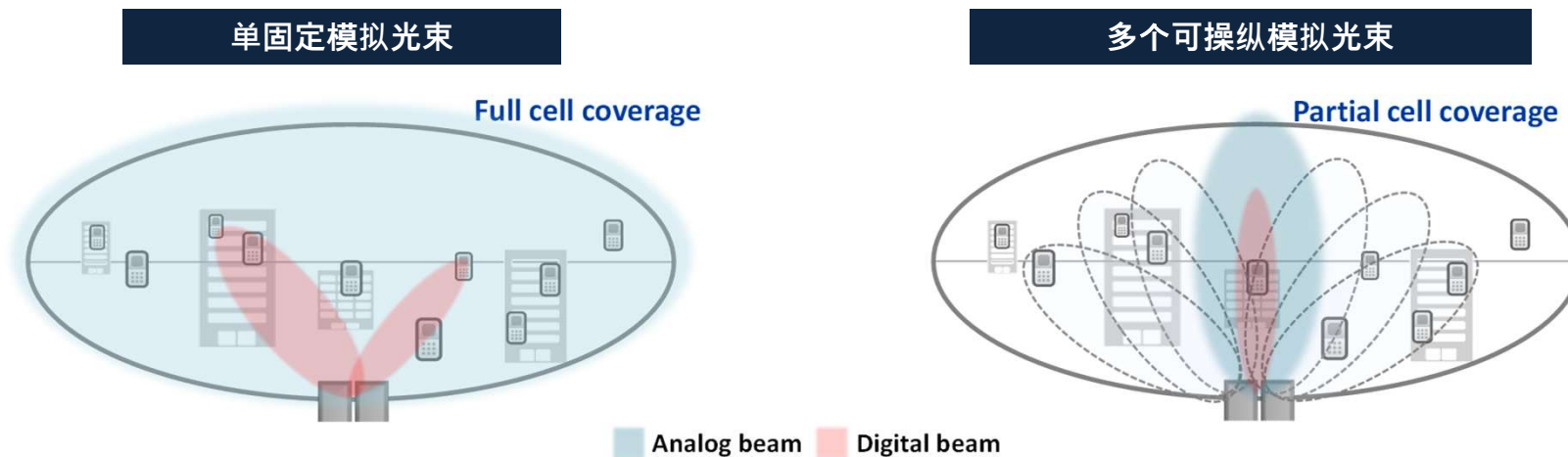
NR 促进了多天线的使用
在无线电操作的每个阶段:

- 初始/随机访问
- 寻呼
- 数据/控制信息
- 机动性处理



模拟和数字波束形成

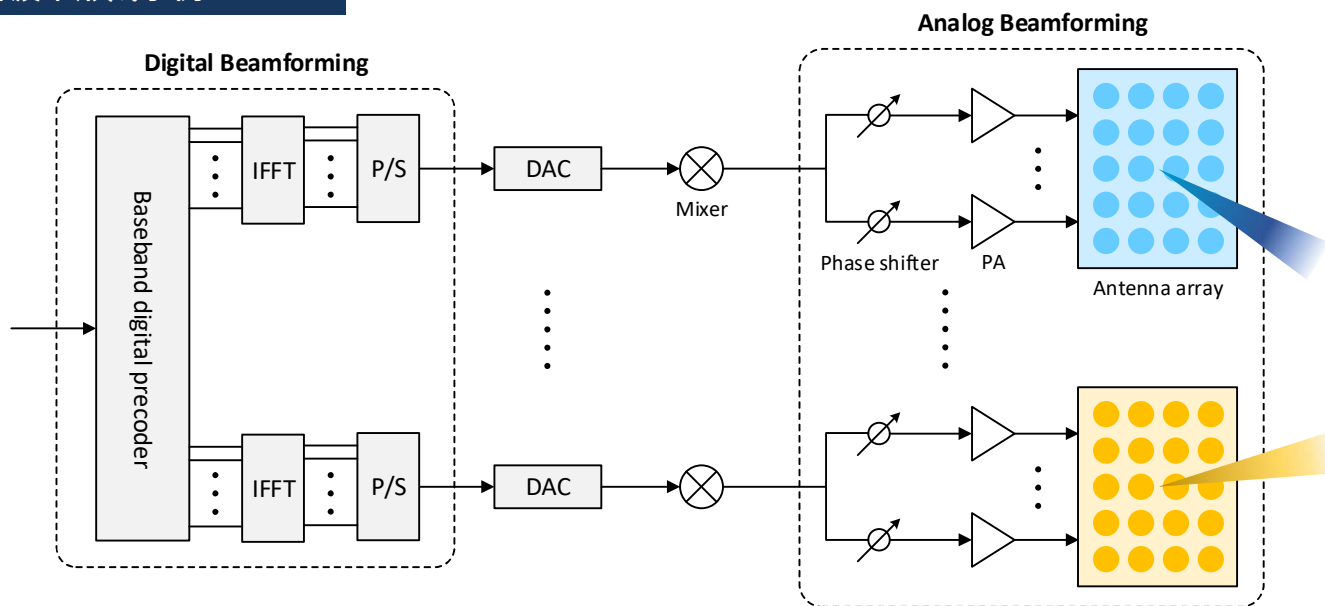
- 🌿 LTE 的设计假设每个小区有固定的模拟波束
 - 📶 模拟波束在任何给定时间都可提供整个小区的完全覆盖
- 🌿 NR 的设计理念是每个单元多个可操纵模拟光束
 - 📶 每个模拟光束在给定时间集中在小区的一部分上，以克服大的路径损耗
- 🌿 在 LTE 和 NR 中，数字波束赋形应用于模拟波束赋形之上



混合波束形成

- 数字和模拟波束形成的组合或“混合波束形成”可用于实现大的 BF 增益，而不会过度增加实现复杂性

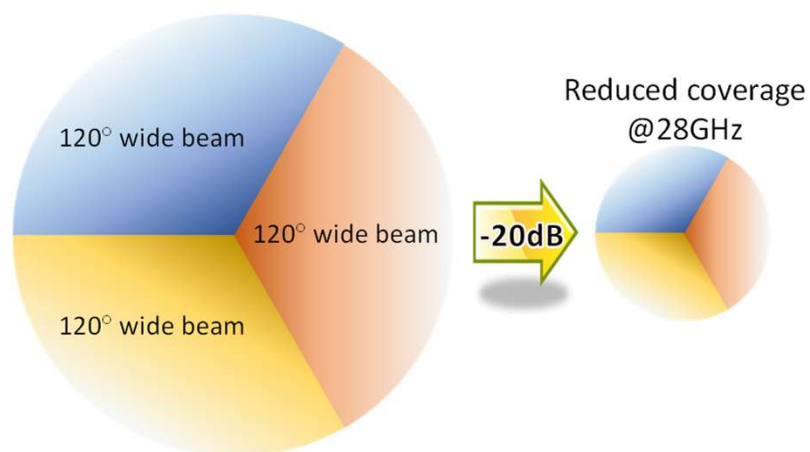
混合波束形成示例



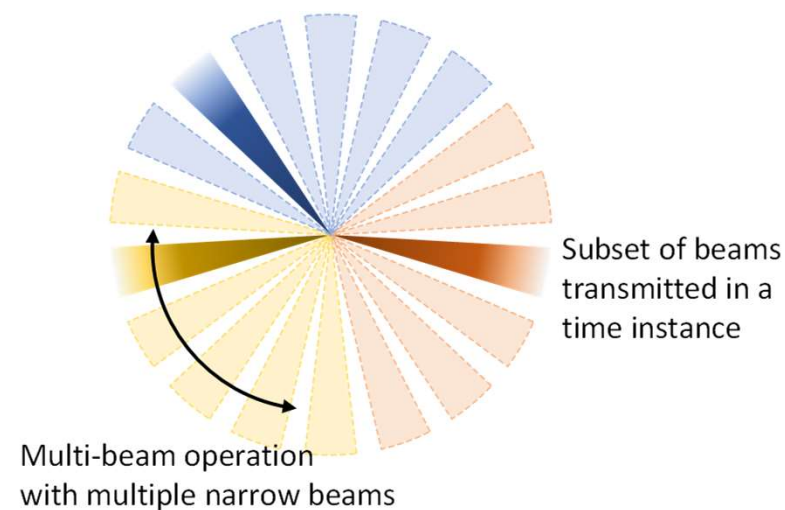
单光束与多光束

- 在较低频率下，可以使用单波束来提供广泛的覆盖范围
- 在较高频率下，可以使用多个波束来扩大覆盖范围

每个扇区单波束 @2.8GHz



每扇区多波束 @28GHz



NR-MIMO 规范设计的注意事项

NR-MIMO 规格特点

NR-MIMO 与 LTE MIMO 的比较

	LTE Rel-8	LTE-A Pro Rel-15	NR Rel-15
目的	<ul style="list-style-type: none"> • 频谱效率增强 	<ul style="list-style-type: none"> • 频谱效率增强 	<ul style="list-style-type: none"> • 覆盖范围增强 (特别是6GHz以上) • 频谱效率增强
多光束操作	<ul style="list-style-type: none"> • 无规格支持 	<ul style="list-style-type: none"> • 无规格支持 	<ul style="list-style-type: none"> • 光束测量、报告 • 光束指示 • 光束故障恢复
上行传输	<ul style="list-style-type: none"> • 每个 UE 最多 4 层 • 高达 8 层的 MU-MIMO (ZC 序列的循环移位) 	<ul style="list-style-type: none"> • 每个 UE 最多 4 层 • 高达 8 层的 MU-MIMO (ZC 序列的循环移位) 	<ul style="list-style-type: none"> • 每个 UE 最多 4 层 • 高达 12 层的 MU-MIMO (正交端口)
下行传输	<ul style="list-style-type: none"> • 每个 UE 最多 4 层 	<ul style="list-style-type: none"> • 每个 UE 最多 8 层 • 高达 4 层的 MU-MIMO (正交端口) 	<ul style="list-style-type: none"> • 每个 UE 最多 8 层 • 高达 12 层的 MU-MIMO (正交端口)
参考信号	<ul style="list-style-type: none"> • 固定模式, 开销 • 多达 4 个 TX 天线端口 (CRS) 	<ul style="list-style-type: none"> • 固定模式, 开销 • 多达 32 个 TX 天线端口 (CSI-RS) 	<ul style="list-style-type: none"> • 可配置模式, 开销 • 多达 32 个 TX 天线端口 (CSI-RS) • 支持6GHz以上

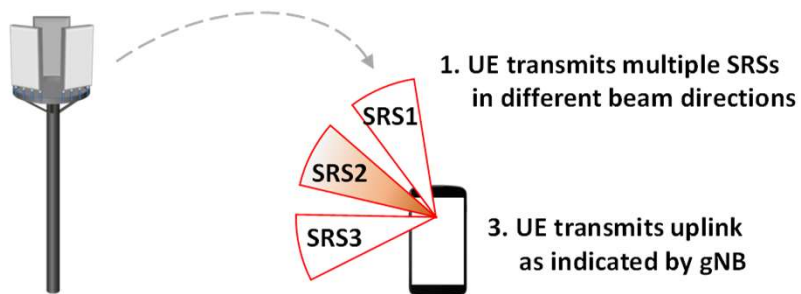
上行传输

支持基于码本和非码本的上行传输

- 基于码本：gNB 向 UE 指示上行波束方向和预编码
- 基于非码本：gNB 仅指示波束方向

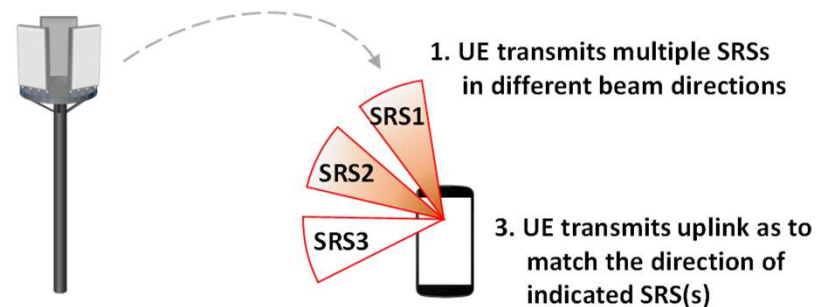
基于码本的上行传输

2. gNB indicates to UE: Beam direction (SRS index), rank, and transmit precoding for uplink



基于非码本的上行链路传输


2. gNB indicates to UE: Beam/precoding direction and rank (all included in SRS indices)





上行MIMO能力


- 每个 UE 最多排名 4，最多 12 个具有正交 DM-RS 端口的联合调度 UE

下行传输


 gNB 完全控制下行链路预编码，可以根据信道状态报告或 UE 的 SRS 传输来确定


-  UE 不知道 gNB 处应用的实际预编码 (UE 透明)
-  UE 仅需要预编码和信道的组合效果来实现解调目的


 下行MIMO能力

-  每个 UE 最高排名 8
-  最多 12 个具有正交 DM-RS 端口的联合调度 UE

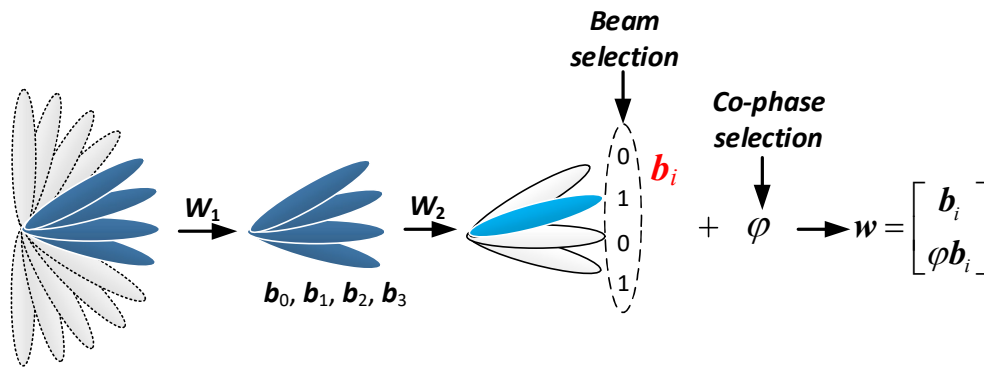
通道状态信息：I类和II类

 NR 支持两种不同的信道状态信息 (CSI) 类型

 Type-I 针对单用户 MIMO 传输进行了优化，具有较小的上行链路开销

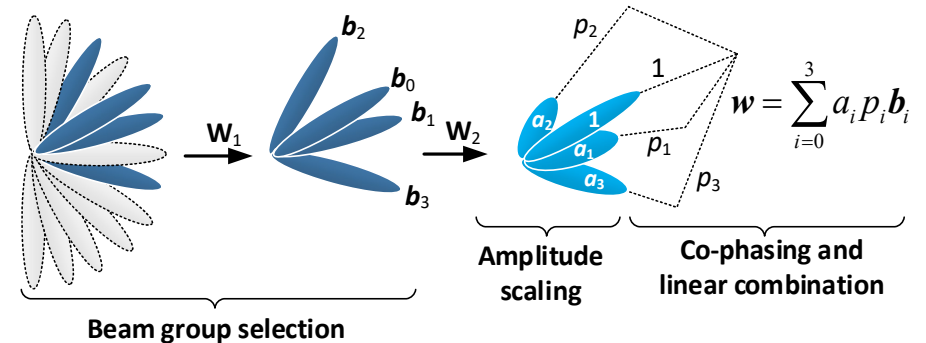
 Type-II 针对多用户 MIMO 传输进行了优化，具有更精细的信道信息，因此具有更大的上行链路开销

I类通道状态信息



Terminal selects beam and co-phase (relative phase difference between X-pol antennas) coefficient

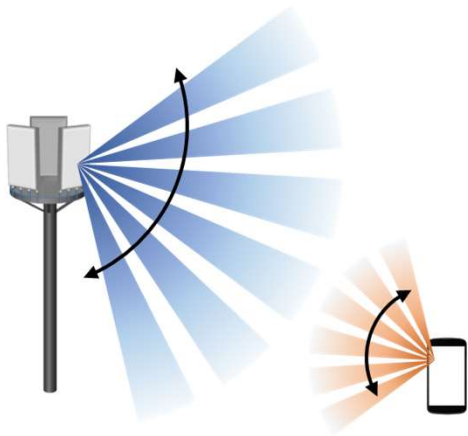
Type-II 通道状态信息



Terminal selects multiple beams, amplitude scaling, and phase coefficients for linear combination between the beams

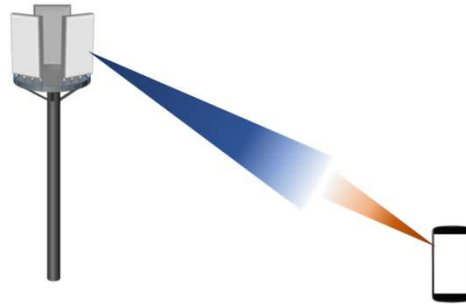
NR 中的多波束操作

光束测量/报告



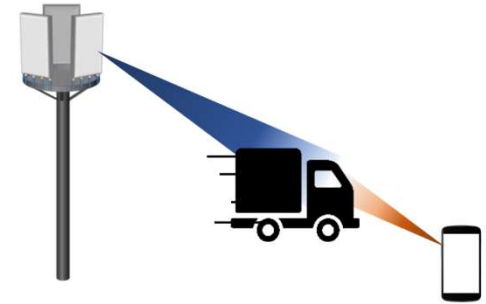
终端测量 TX-RX 波束的不同组合，以进行初步选择和进一步细化

光束指示



NW指示参考信号的波束方向以及下行链路/上行链路上的控制/数据传输

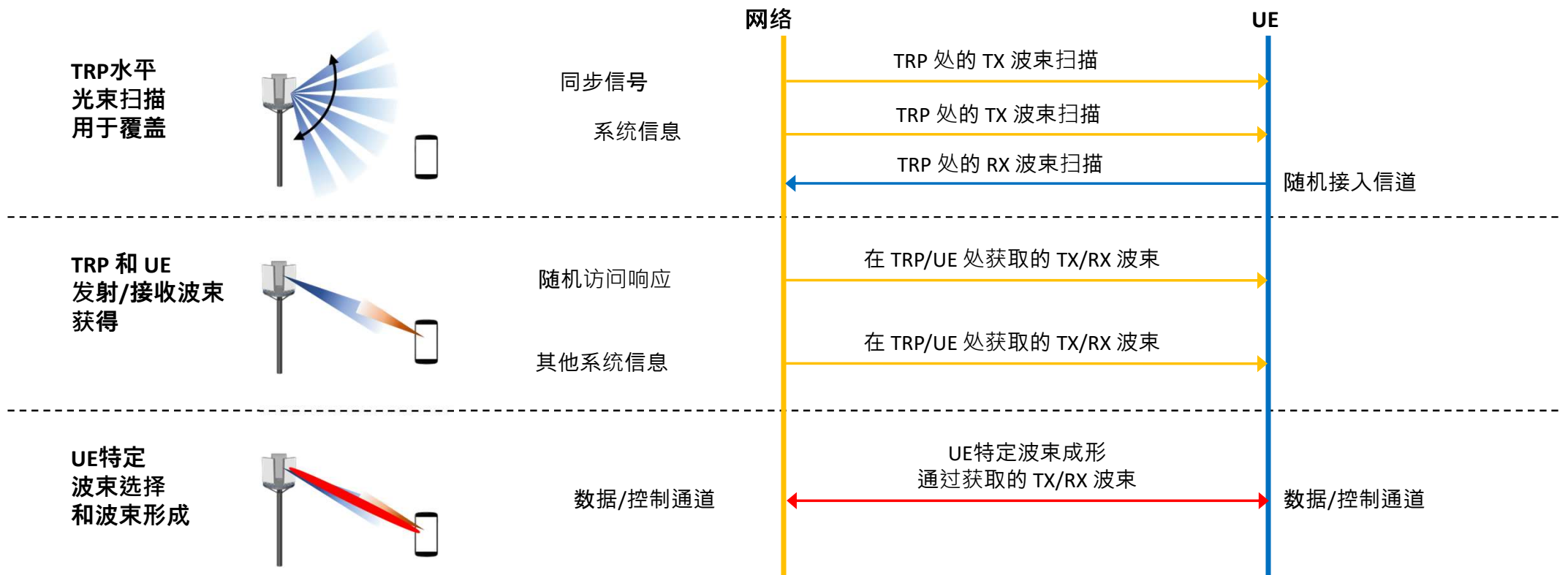
梁故障报告



用于从梁故障中恢复的低延迟过程

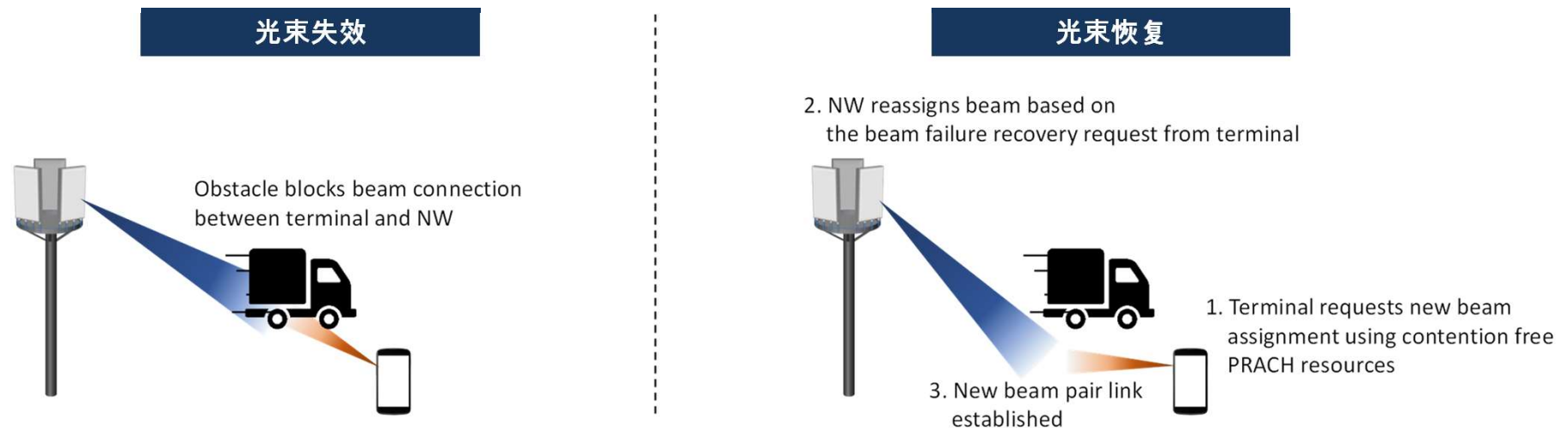
NR 中的多波束操作

用于初始访问和数据/控制通道的多波束操作






光束故障恢复

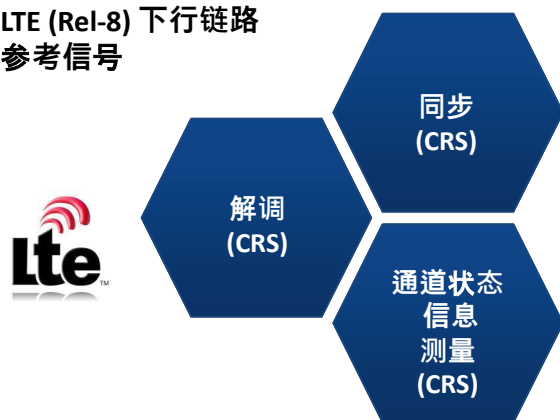
- 由于多波束运行时波束宽度较窄，网络与终端之间的链路容易出现波束故障
- 与覆盖范围外的情况不同，光束故障往往具有动态时间分布
- 光束故障恢复允许使用 L1 程序进行即时光束恢复



NR 参考信号

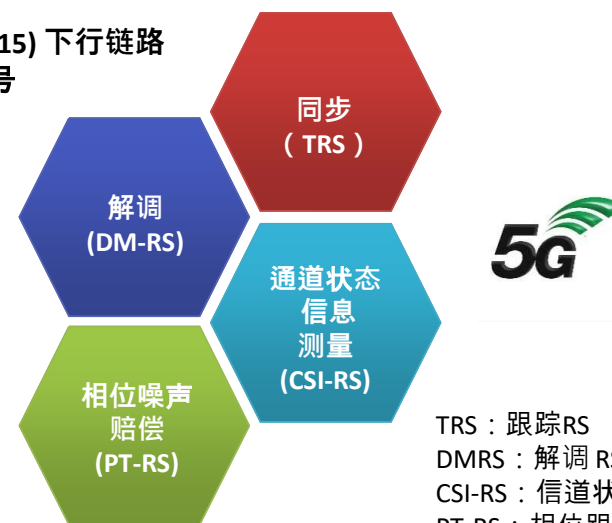
-  LTE 具有“一刀切”的下行链路参考信号设计：CRS
 -  限制灵活的网络部署，网络节能不高，不适用于更高频谱（>6GHz），对于大量天线不适合 MIMO
-  NR下行参考信号针对特定角色量身定制，可灵活适应不同的部署场景和频谱

LTE (Rel-8) 下行链路
参考信号




CRS：小区特定 RS


NR (Rel-15) 下行链路
参考信号

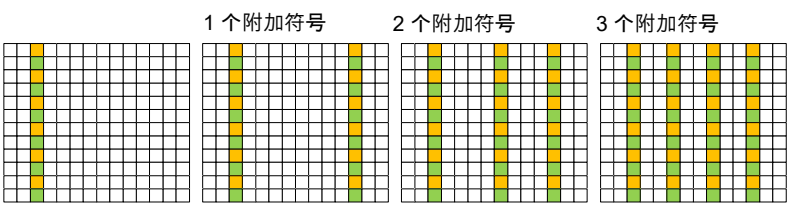
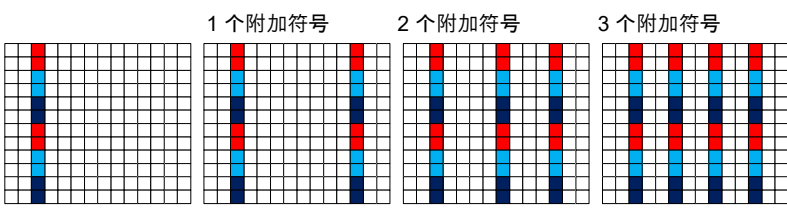


TRS：跟踪RS
DMRS：解调RS
CSI-RS：信道状态信息RS
PT-RS：相位跟踪RS

NR 参考信号 : DM-RS


 专为下行链路/上行链路信道估计而设计 → 相干解调

 NR支持两种不同类型的DMRS


	NR 类型 1 DM-RS	NR 2 型 DM-RS
正交端口	最多 8 个	最多 12 个
灵活性	可适应频率/时间选择性、鲁棒性、MU-MIMO 联合调度 UE 数量等	
波形	CP-OFDM (UL/DL) 或 DFT-S-OFDM (UL)	仅 CP-OFDM (UL/DL)
设计 (单符号 DM-RS 图)	基于IFDMA 	基于频域正交覆盖码 
开销/端口	更高	降低


NR 参考信号：CSI-RS / TRS

 CSI-RS专为下行链路测量而设计→上报通道状态信息


 支持三种不同类型的CSI-RS：周期性、非周期性和半持久CSI-RS



	定期CSI-RS	非周期CSI-RS	半持久CSI-RS
正交端口	最多 32 个	最多 32 个	最多 32 个
时域行为	配置后定期传输	触发时单次传输	周期性传输一旦激活直至停用
激活/停用	RRC信令	L1信令	MACCE
特征	无 L1 开销	低延迟	周期性和非周期性的混合CSI-RS

 TRS 专为时间/频率跟踪和延迟/多普勒扩展估计而设计

 配置为具有特定参数限制（时间/频率位置、RE 模式等）的CSI-RS

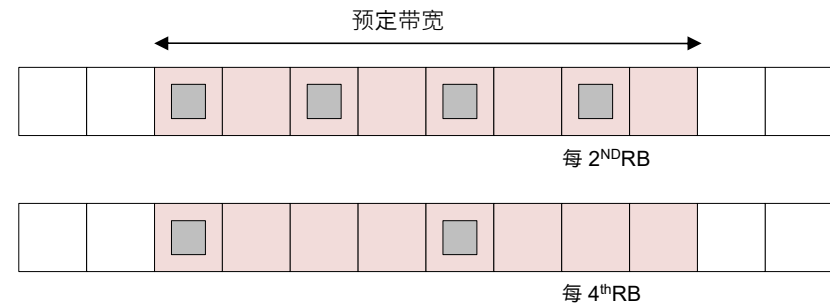
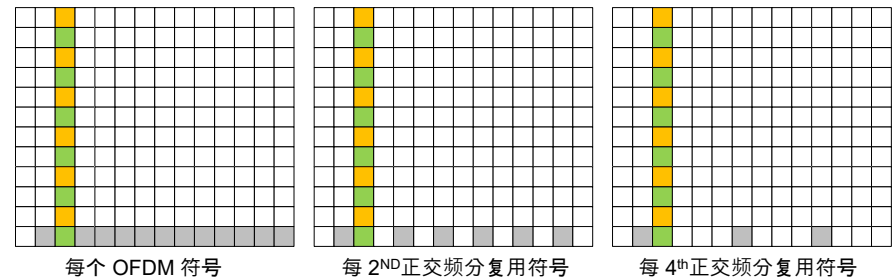
NR 参考信号 : PTRS

 PTRS专为下行/上行相位噪声补偿而设计


-  '与 DM-RS 关联, 以便接收器可以在解调期间补偿相位噪声
-  时间、频率上的PTRS密度分别与调度的MCS、带宽相关联





预定MCS	时域密度
$0 \leq \text{MCS} < \text{MCS}_1$	无PTRS
$\text{MCS}_1 \leq \text{MCS} < \text{MCS}_2$	每个 OFDM 符号
$\text{MCS}_2 \leq \text{MCS} < \text{MCS}_3$	每 2 ND 正交频分复用符号
$\text{MCS}_3 \leq \text{MCS} < \text{MCS}_4$	每 4 th 正交频分复用符号

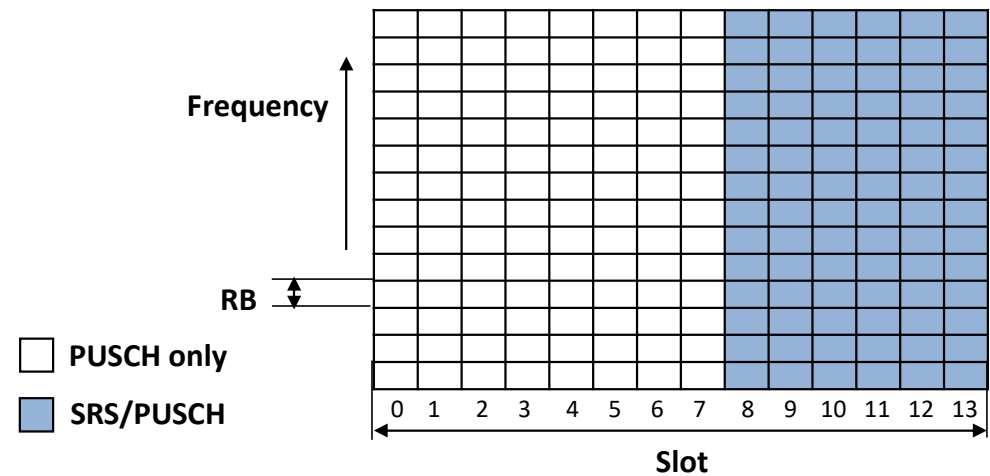
预定带宽	频域密度
$0 \leq N_{\text{RB}} < N_{\text{RB1}}$	无PTRS
$N_{\text{RB1}} \leq N_{\text{RB}} < N_{\text{RB2}}$	每 2 ND RB
$N_{\text{RB2}} \leq N_{\text{RB}}$	每 4 个 RB



NR 参考信号：SRS

 SRS 旨在评估上行链路信道质量和定时

-  当信道互易性适用时，也可用于下行链路信道信息
-  支持三种不同类型的 SRS：周期性、非周期性和半持久 SRS（与 CSI-RS 的时域行为相同）
-  支持 SRS 载波切换，以便使用单个上行链路发射机在多个载波上传输 SRS
-  最多可使用 6 个 OFDM 符号
SRS 传输以增加 SRS 容量
与 LTE 相比
(Rel-8 LTE 支持最多 1 个 OFDM 符号)



Rel-16 NR-MIMO 的增强



增强功能 **多用户多输入多输出** 支持：



根据 Type II CSI 反馈，指定开销减少量，同时考虑性能和开销之间的权衡
进行研究，并在需要时指定将 II 类 CSI 反馈扩展至排名 >2



增强功能 **多TRP/面板传输** 包括通过理想和非理想回程提高可靠性和稳健性：



指定下行链路控制信令增强功能以有效支持非相干联合传输
执行研究，并在需要时指定非相干联合 TX 的上行链路控制信令和/或参考信号的增强
满足 URLLC 要求的多 TRP 技术包含在该 WI 中



增强功能 **多光束操作**，主要针对 FR2 操作：



执行研究，并在需要时指定 Rel-15 中指定的 UL 和/或 DL TX 波束选择的增强功能，以减少延迟/开销
为多面板操作指定 UL 发射波束选择，以促进特定于面板的波束选择



根据 Rel-15 中指定的波束故障恢复指定 SCell 的波束故障恢复



指定 L1-RSRQ 或 L1-SINR 的测量和报告



在 WI 开始后的第一次 RAN1 会议上进行研究并得出结论，如果需要，指定 CSI-RS 和 DMRS (DL 和 UL) 增强 **峰均比降低** 对
于一层或多层 (Rel-15 中指定的 RE 映射没有变化)



指定允许的增强 **全功率传输** 在具有多个功率放大器的上行链路传输的情况下 (假设 UE 功率等级没有变化)



谢谢你！