



大规模 MIMO 和波束成形5G

南京5G基带团队

$$C = N \cdot B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$



克劳德·香农 (1916-2001)

多通道

最大带宽

高接收权

空分复用

毫米波

高收入

多输入多
输出

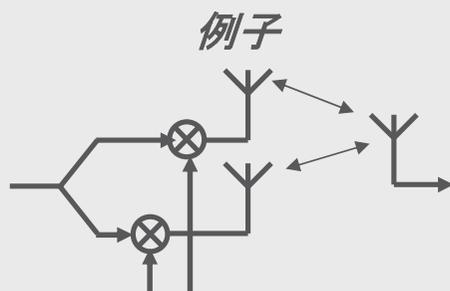
波束成形

多天线的可能性

味噌或SIMO

方向性

天线/波束形成增益

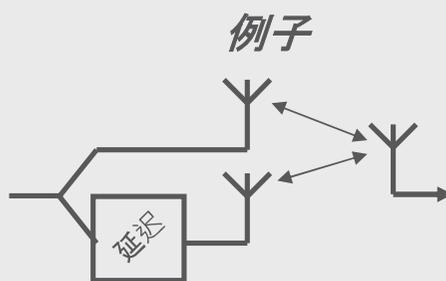


渠道知识 (平均/即时)
以最佳方向传输信号

味噌或SIMO

多样性

“减少褪色”

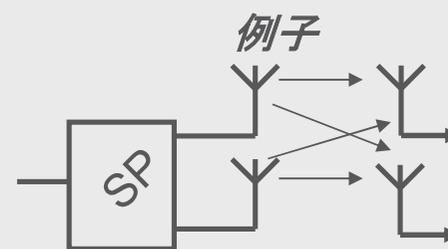


向各个方向传输信号

多输入多输出

空间复用

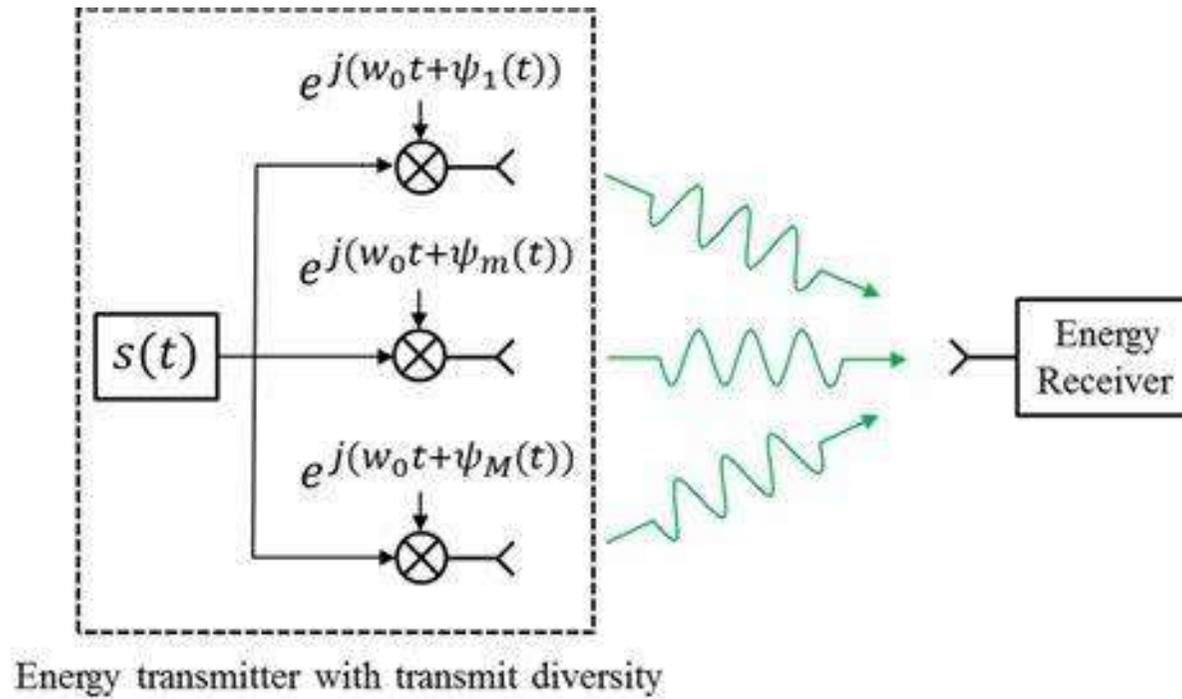
“数据速率倍增”



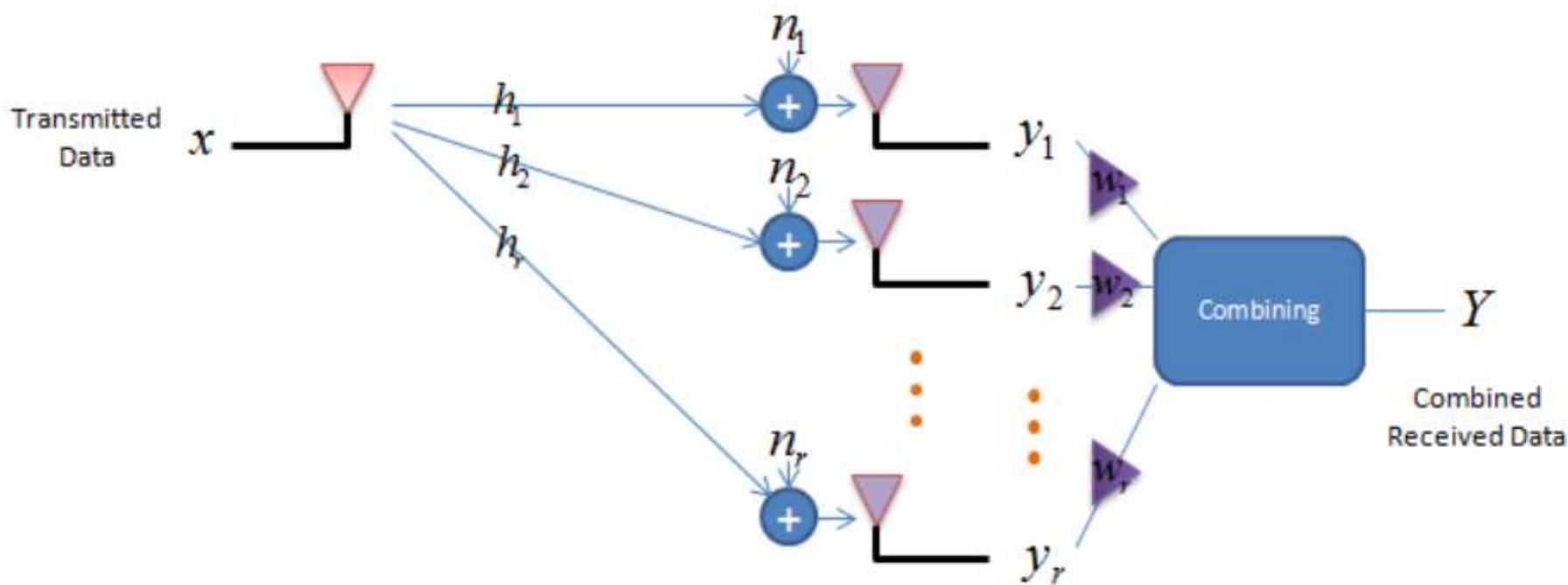
向不同方向传输多个信号

- 不同的技术对接收和发送的通道知识做出不同的假设
- 许多技术可以实现多种好处
- 实现的效益取决于信道 (包括天线) 和干扰特性

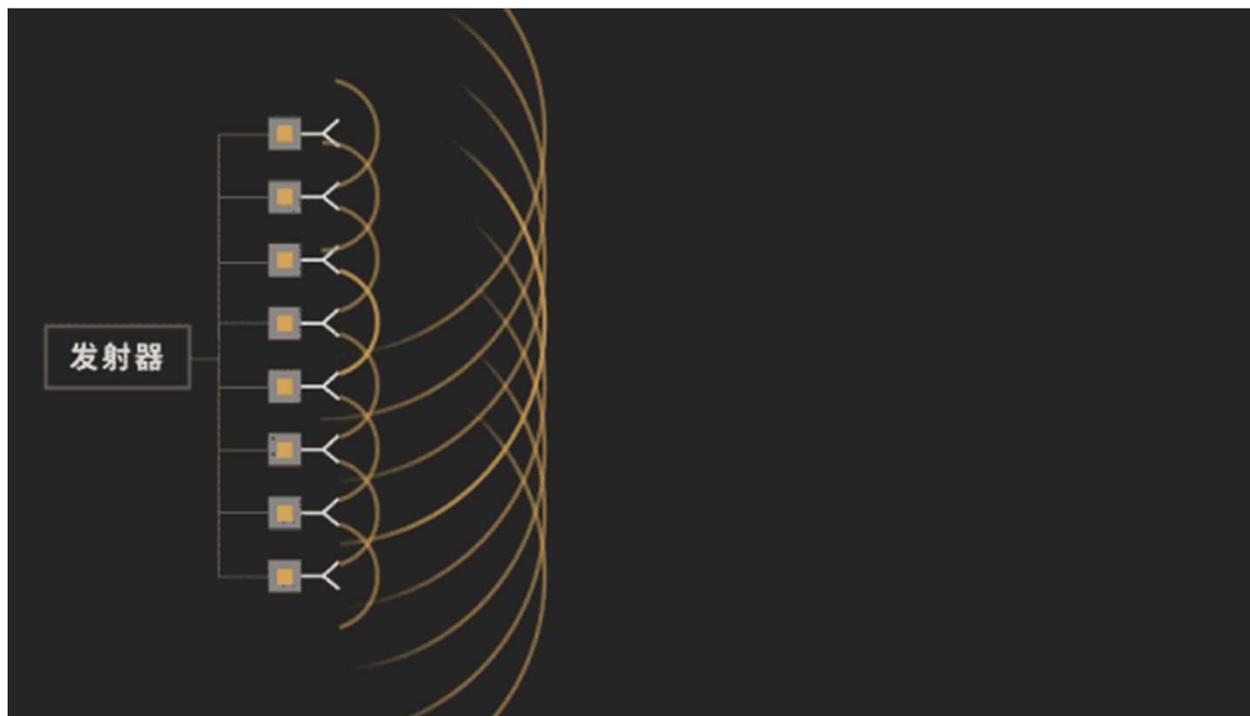
发射多样性



接收多样性



波束成形

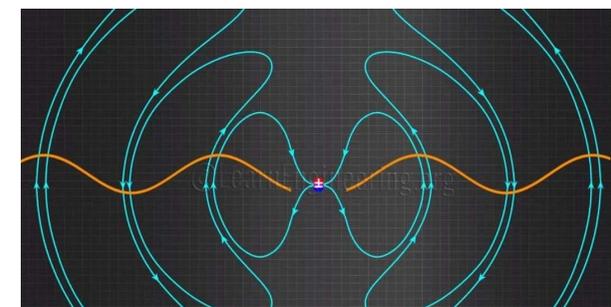
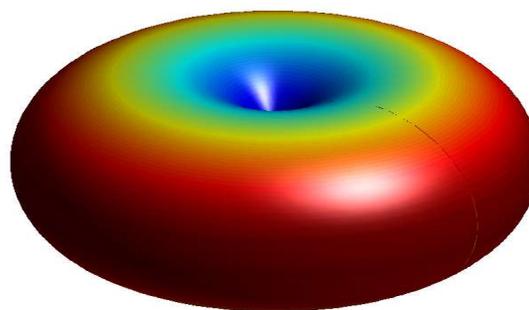
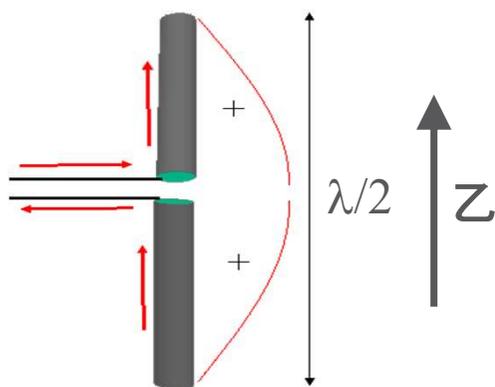


波束成形

----天线基础知识



经典的半波长偶极子

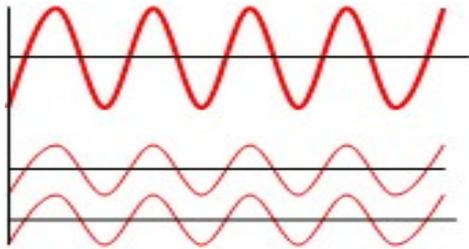


- 全方位水平覆盖
- 垂直覆盖范围广
- 低增益 (2.15分贝)

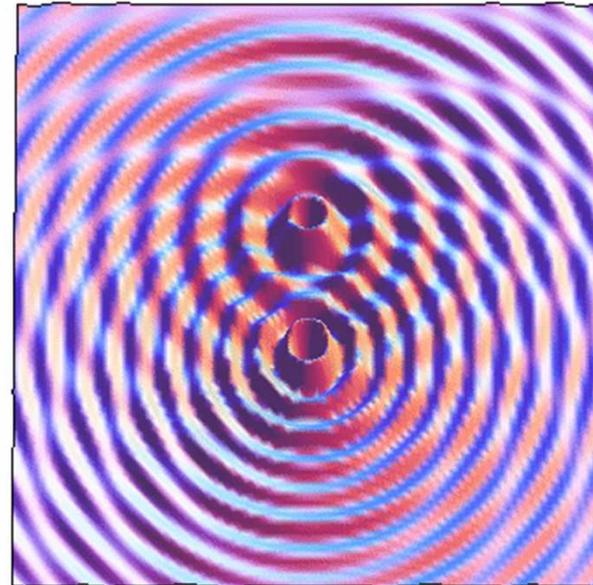
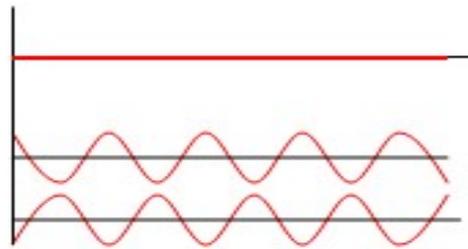
全向辐射图
(甜甜圈形状)

互动效果

建设性的



破坏性的



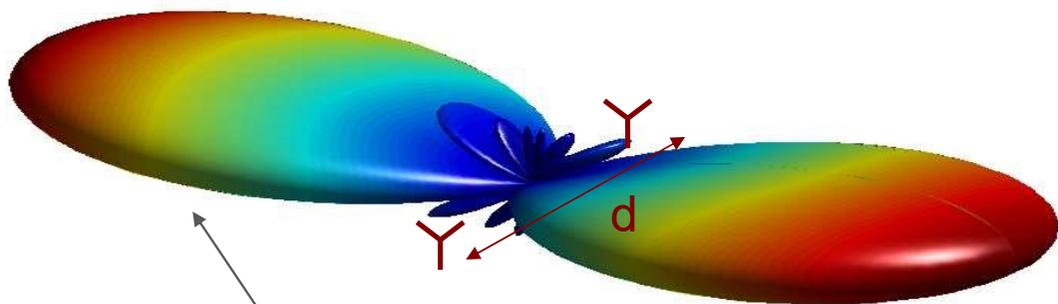
二元素大批 辐射 图案



- 更多的“主要的叶”（又名 光栅 叶）是已创建 如果这天线 距离 超过 大约 一半 A波长

$d = 0.5$ 波长

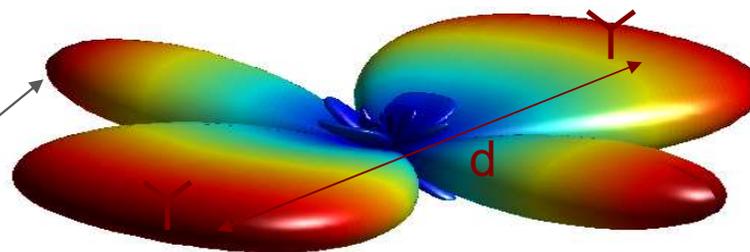
element distance = 0.5 wavelenghts



- 由于对称性，存在后瓣

$d = 1.0$ 波长

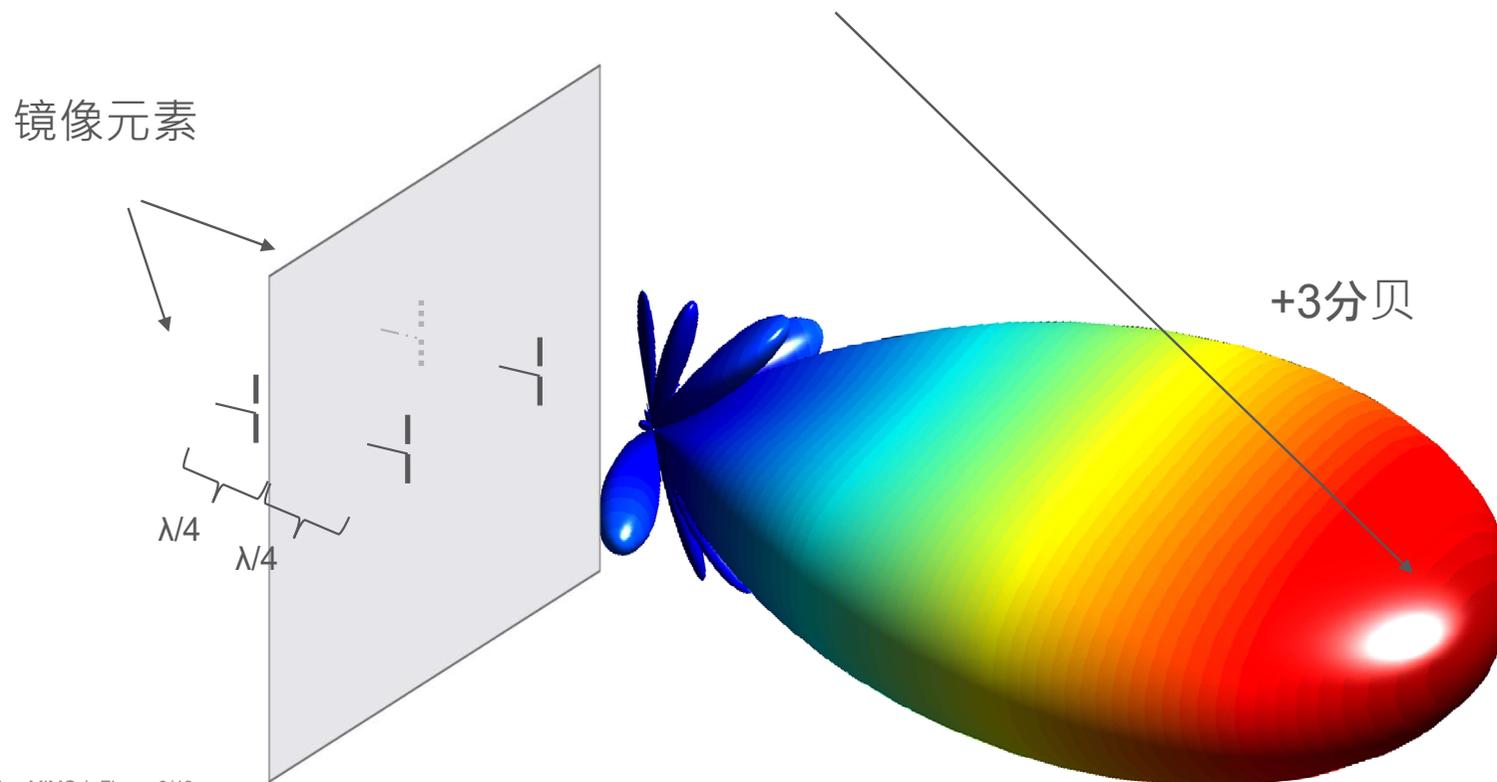
element distance = 1 wavelenghts



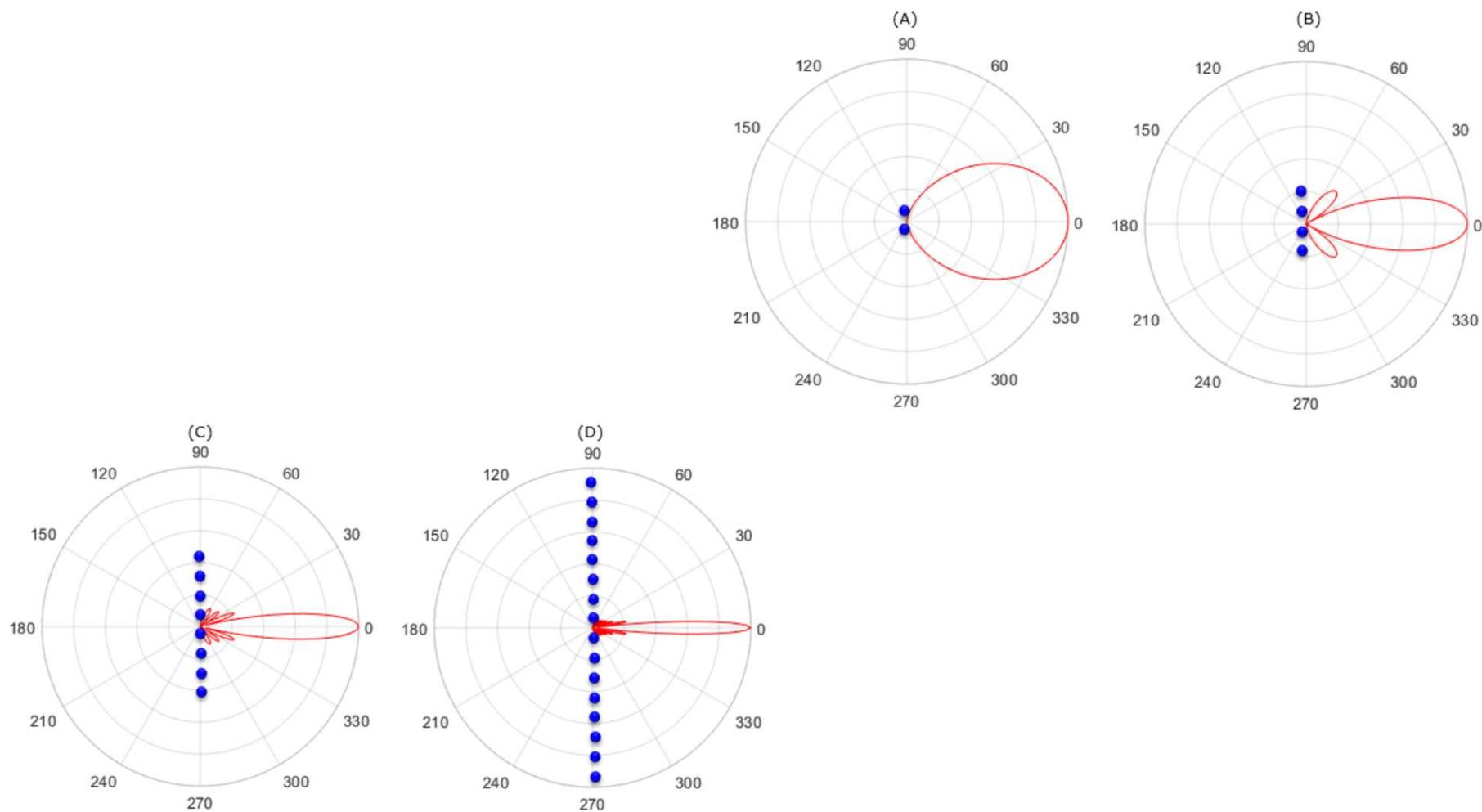
栅瓣

地面飞机

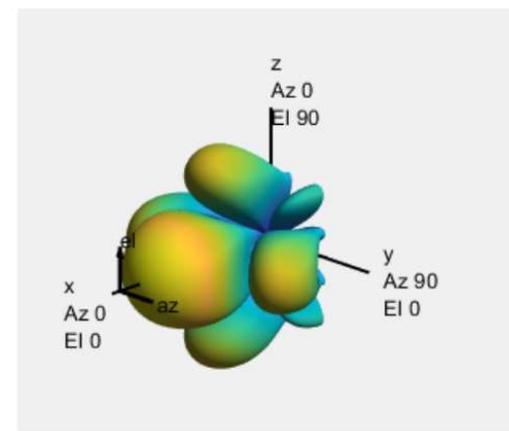
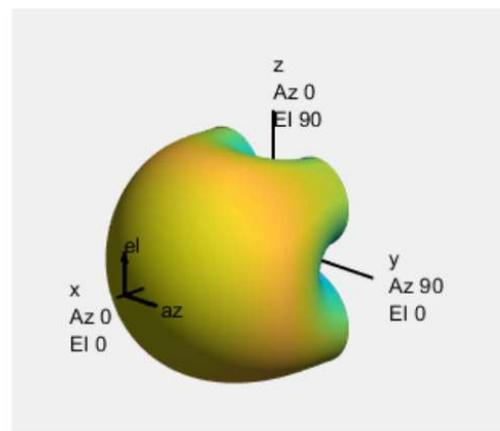
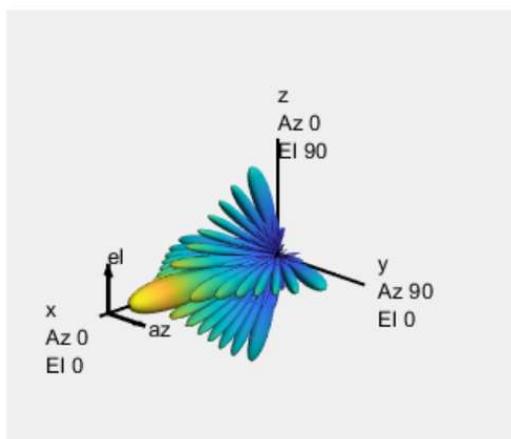
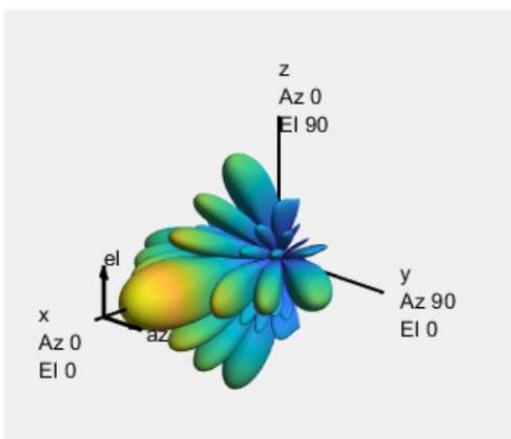
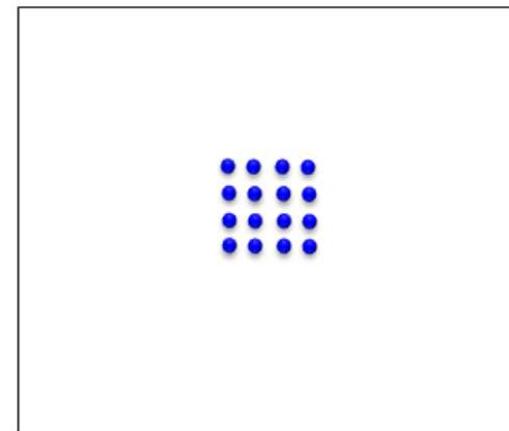
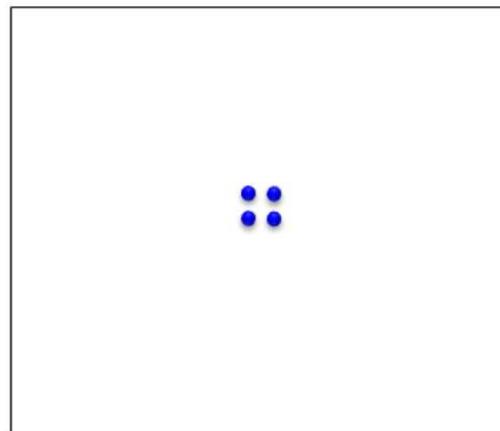
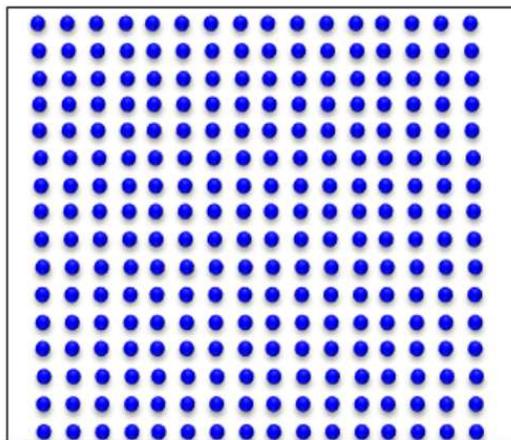
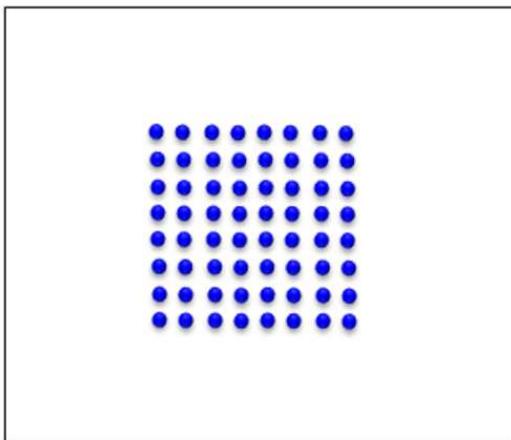
- › A地面飞机删除背部叶和浓缩物这活力在前面方向(+3分贝)



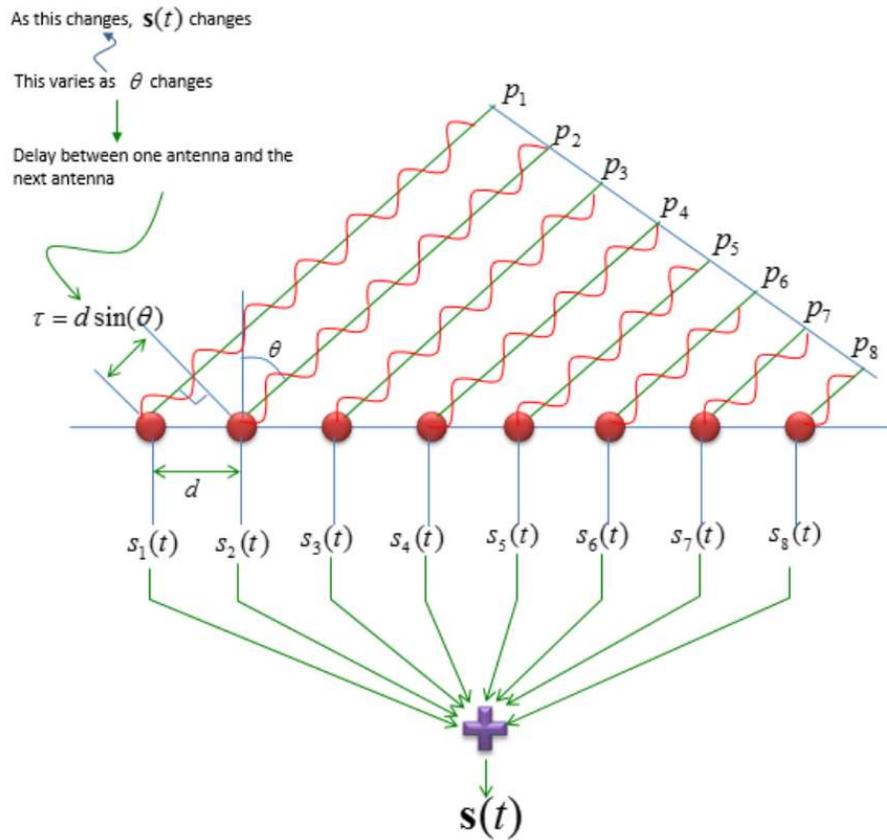
阵列天线



阵列天线

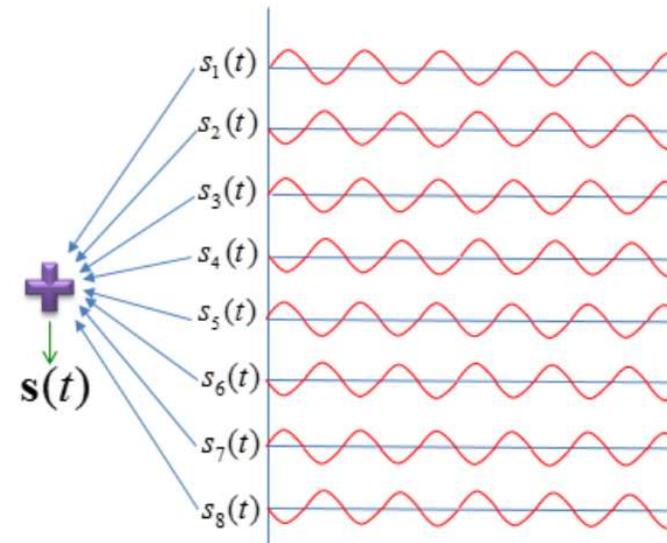


波束控制

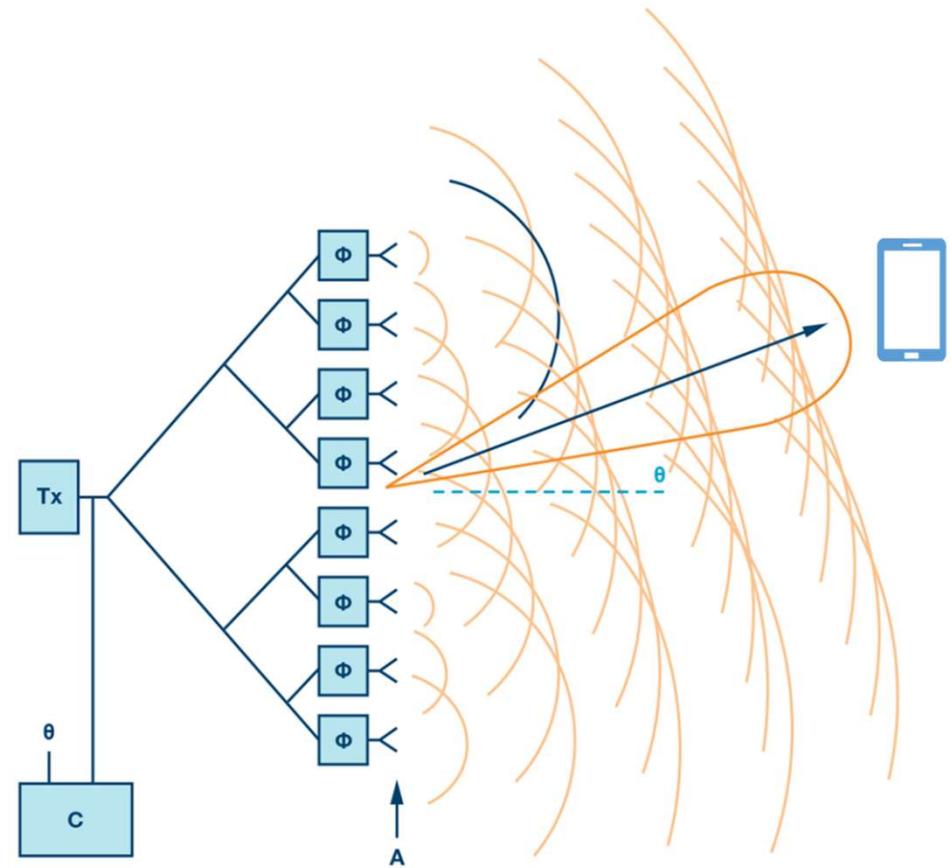
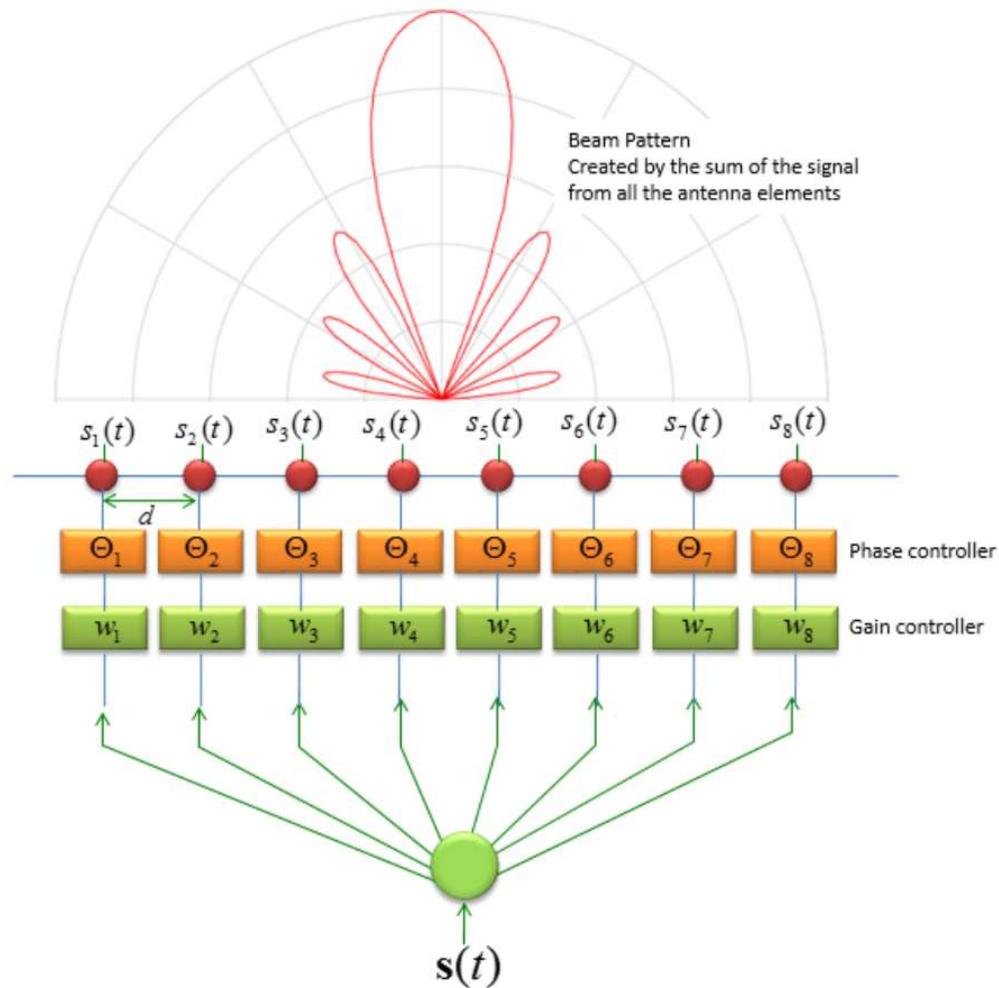


$$\tau = d \cdot \sin(\theta)$$

$$\Delta\phi = \omega \cdot \tau = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta)$$

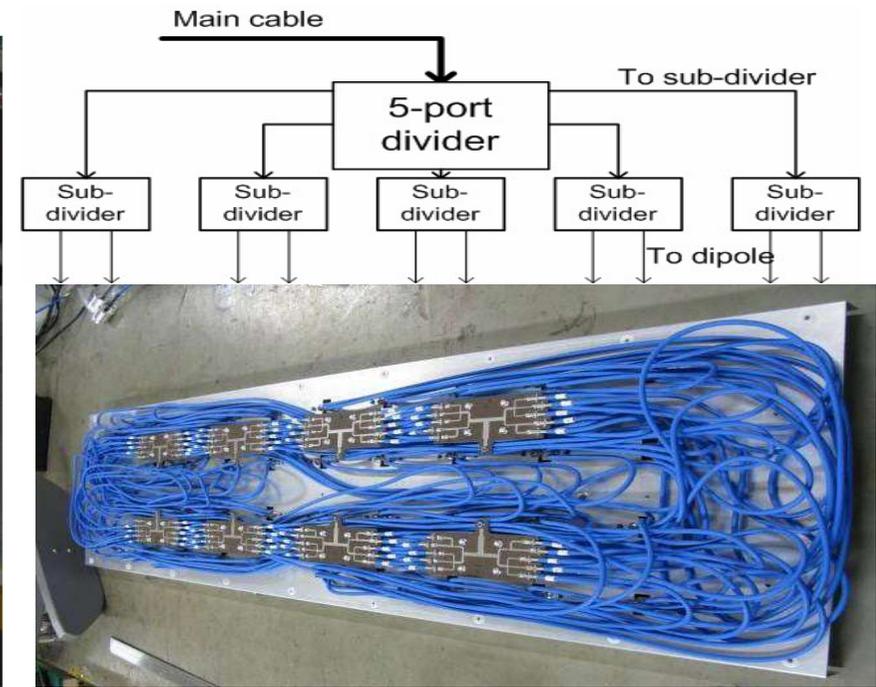
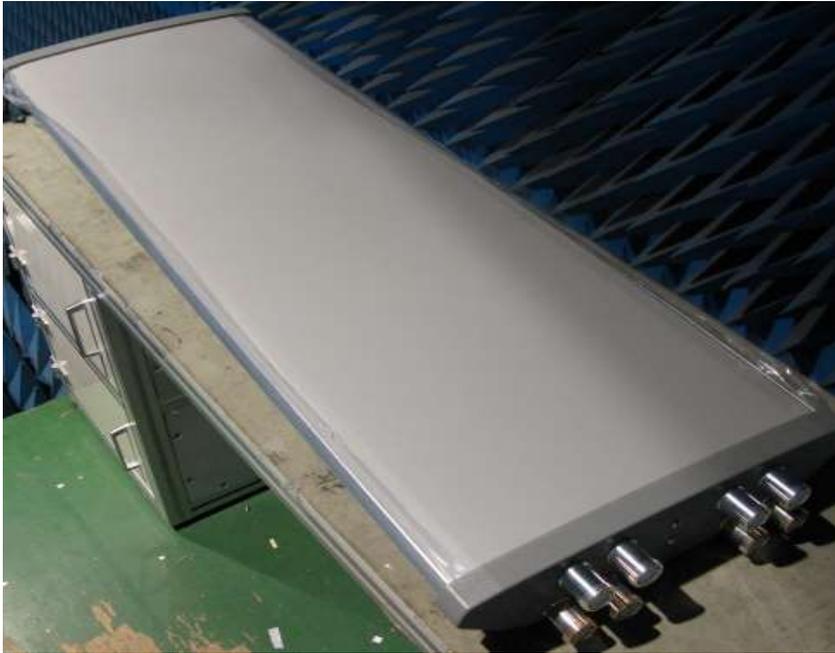


波束成形



阵列天线示例

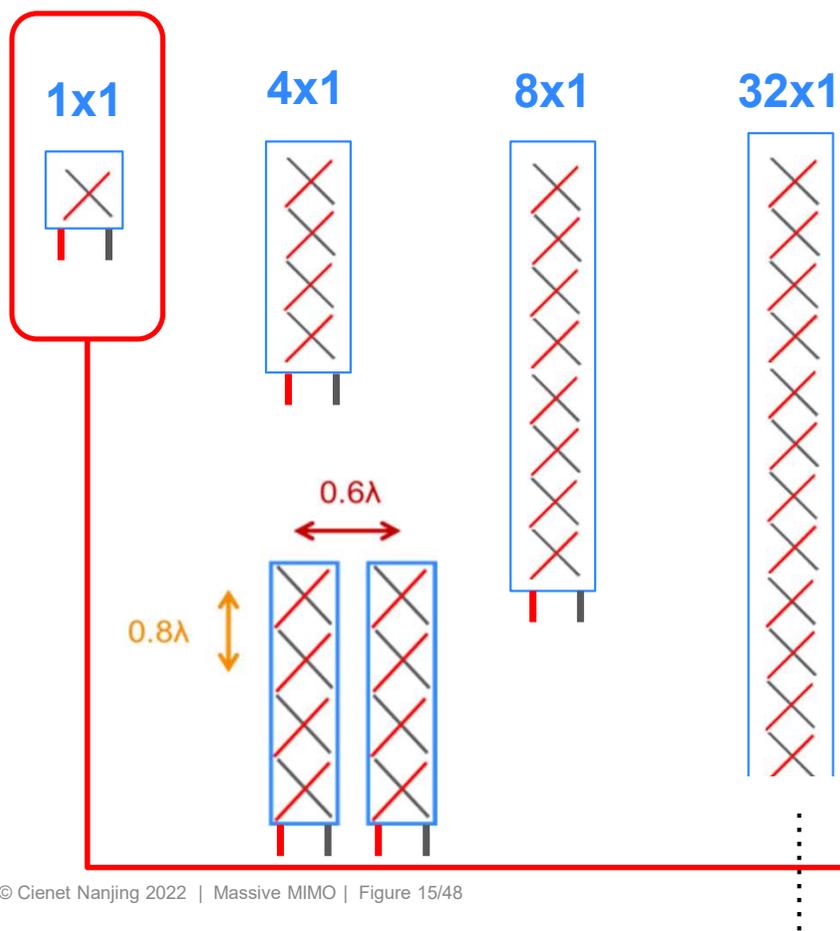
- › 四列
- › 双极化
- › 几根电缆...



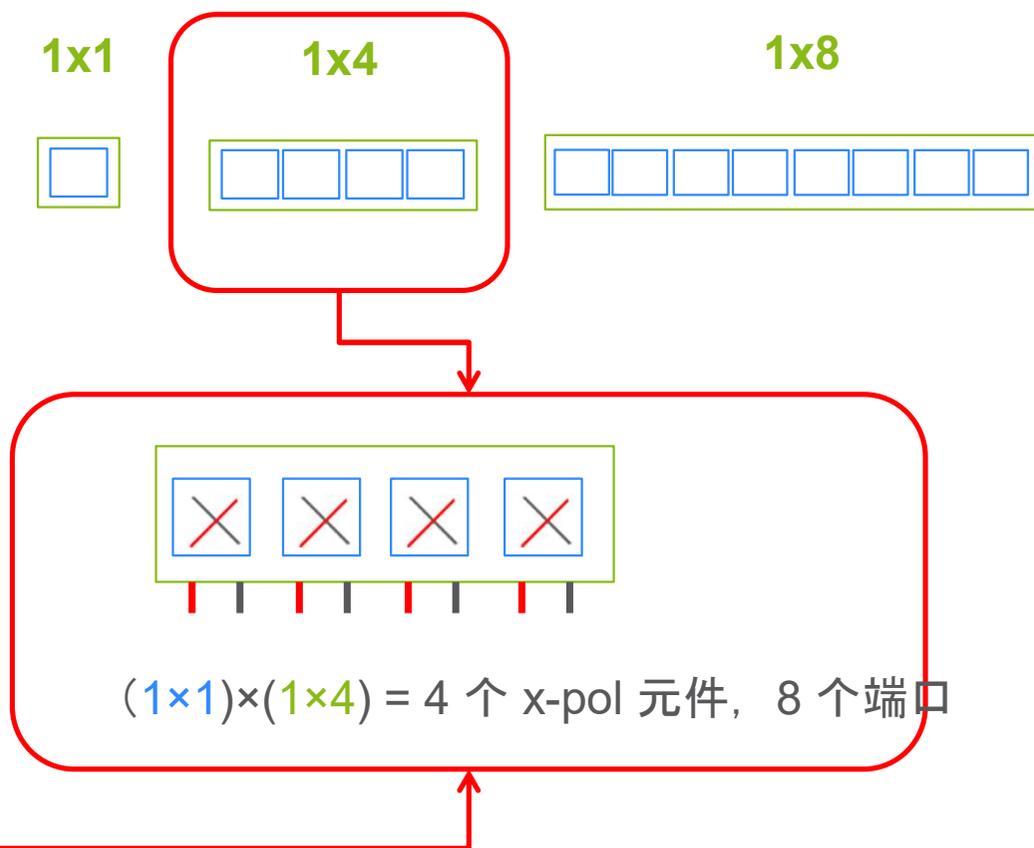
较大 天线数组



X-pol子数组, 每个 pol 1 个端口



数组的子数组 (奥萨)

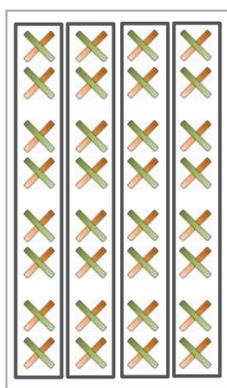


天线配置

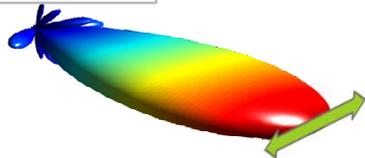


8T8R

4个子数组

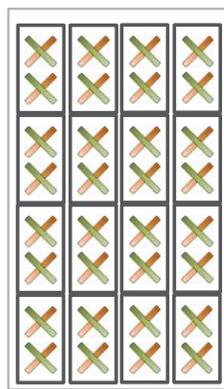


1x4x2 端口
8x1 子阵列

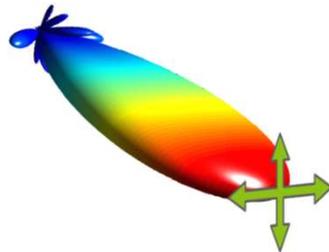


32T32R

16个子阵列

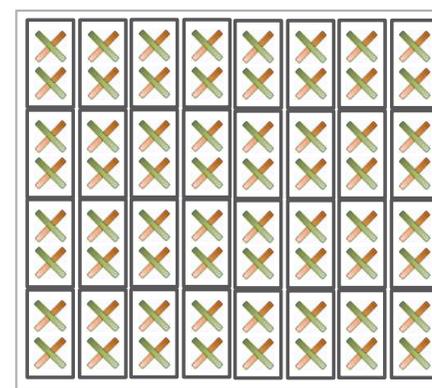


4x4x2 端口
2x1 子数组

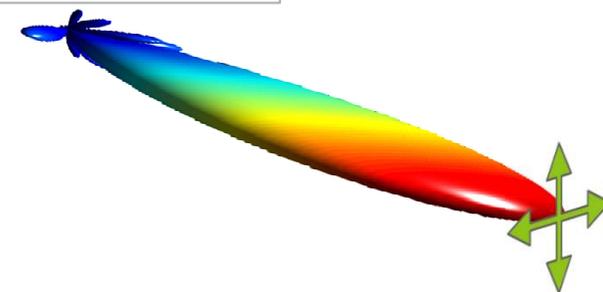


64T64R

32个子阵列



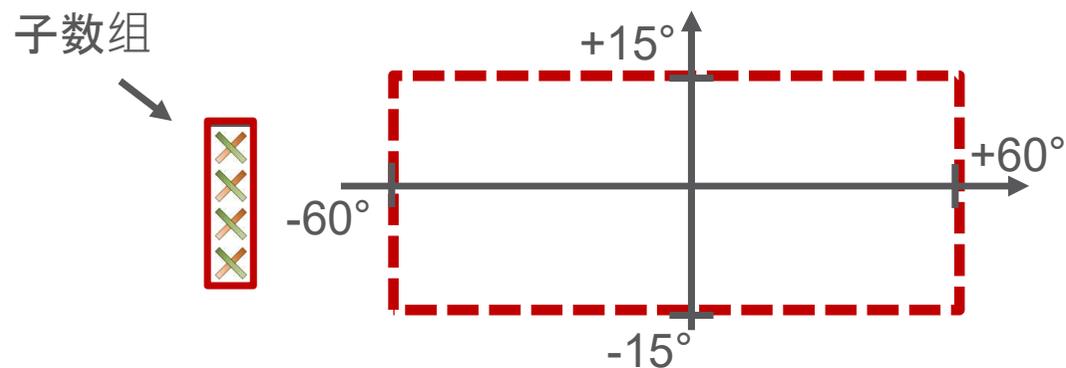
4x8x2 端口
2x1 子数组



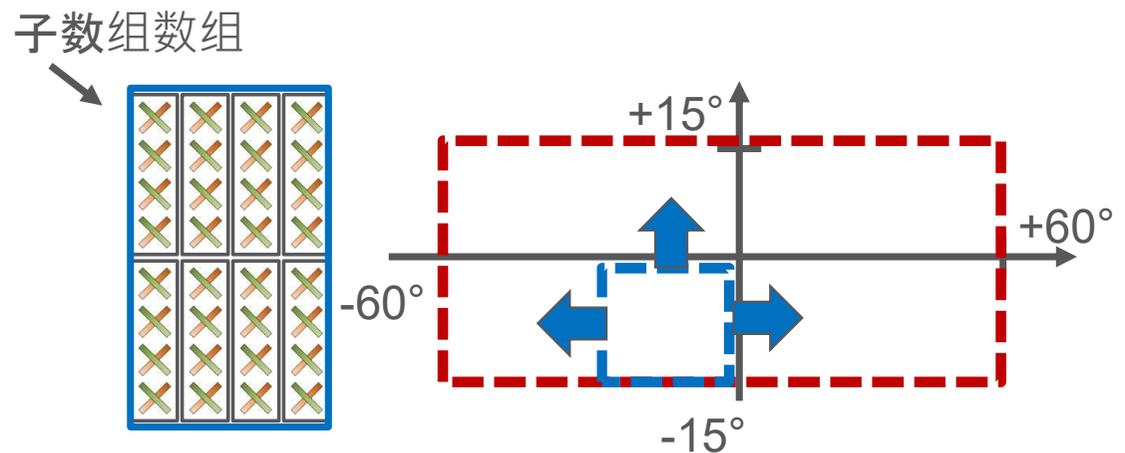
子数组数组



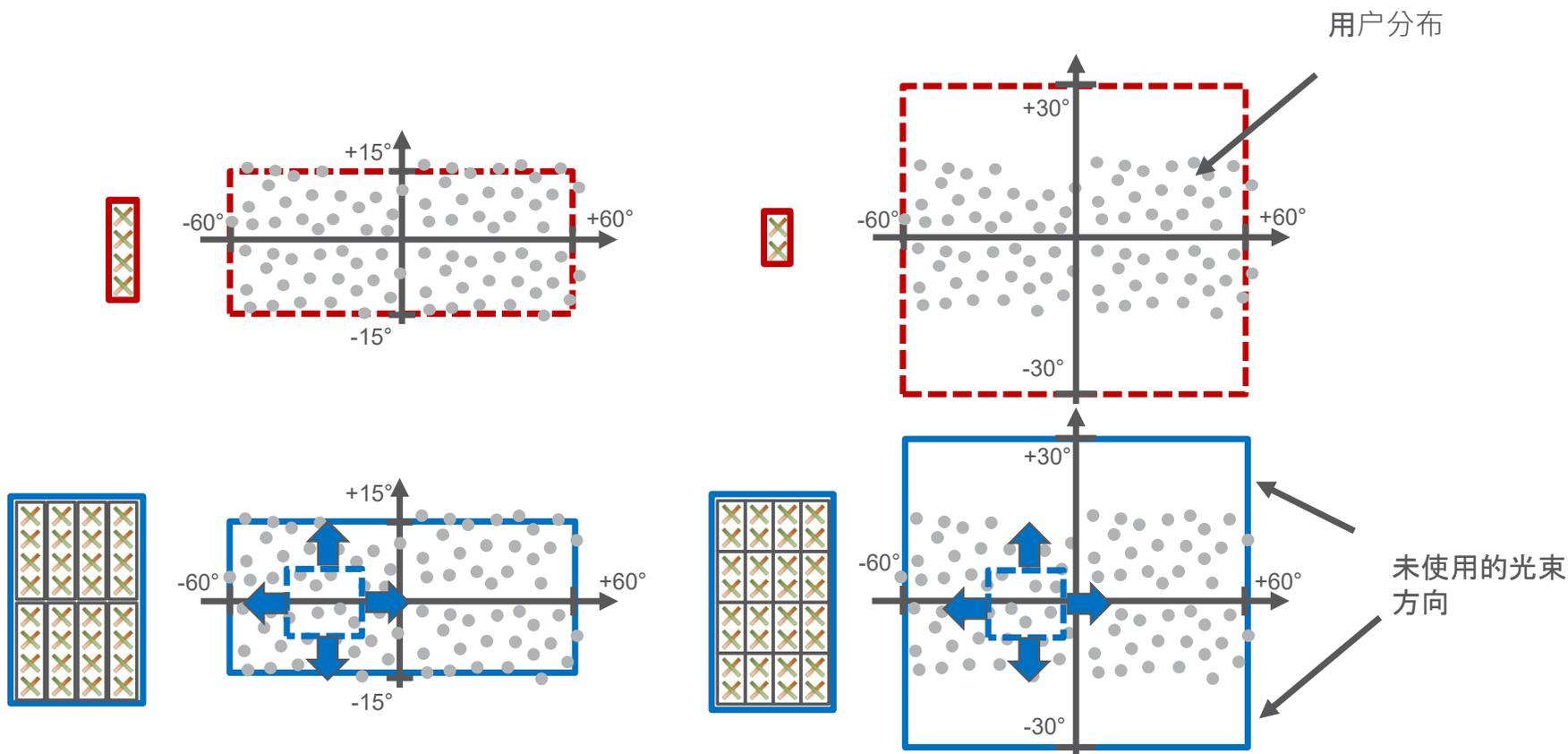
- › 这**子数组**确定角度覆盖区域（转向范围）
 - 波束宽度与天线尺寸成反比



- › 一个**子数组数组**具有更窄的 UE 特定波束，但与每个子阵列相同的角度覆盖区域



子数组数组



- › 更多的子阵列 (=更多的发射器/接收器) 并不总是能提供更高的容量！
- › 根据 UE 角度分布选择阵列大小。

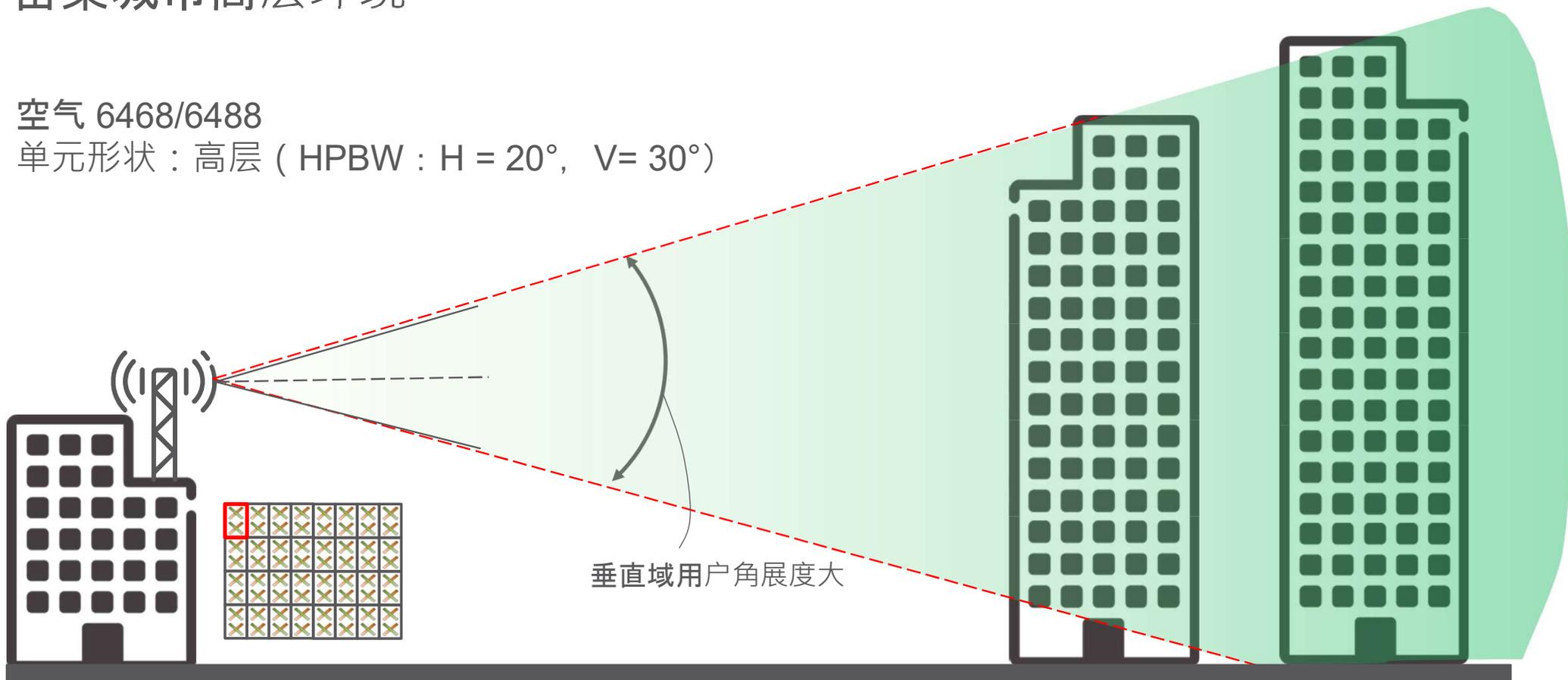
仰角梁宽度

密集城市高层环境



空气 6468/6488

单元形状：高层 (HPBW : $H = 20^\circ$, $V = 30^\circ$)



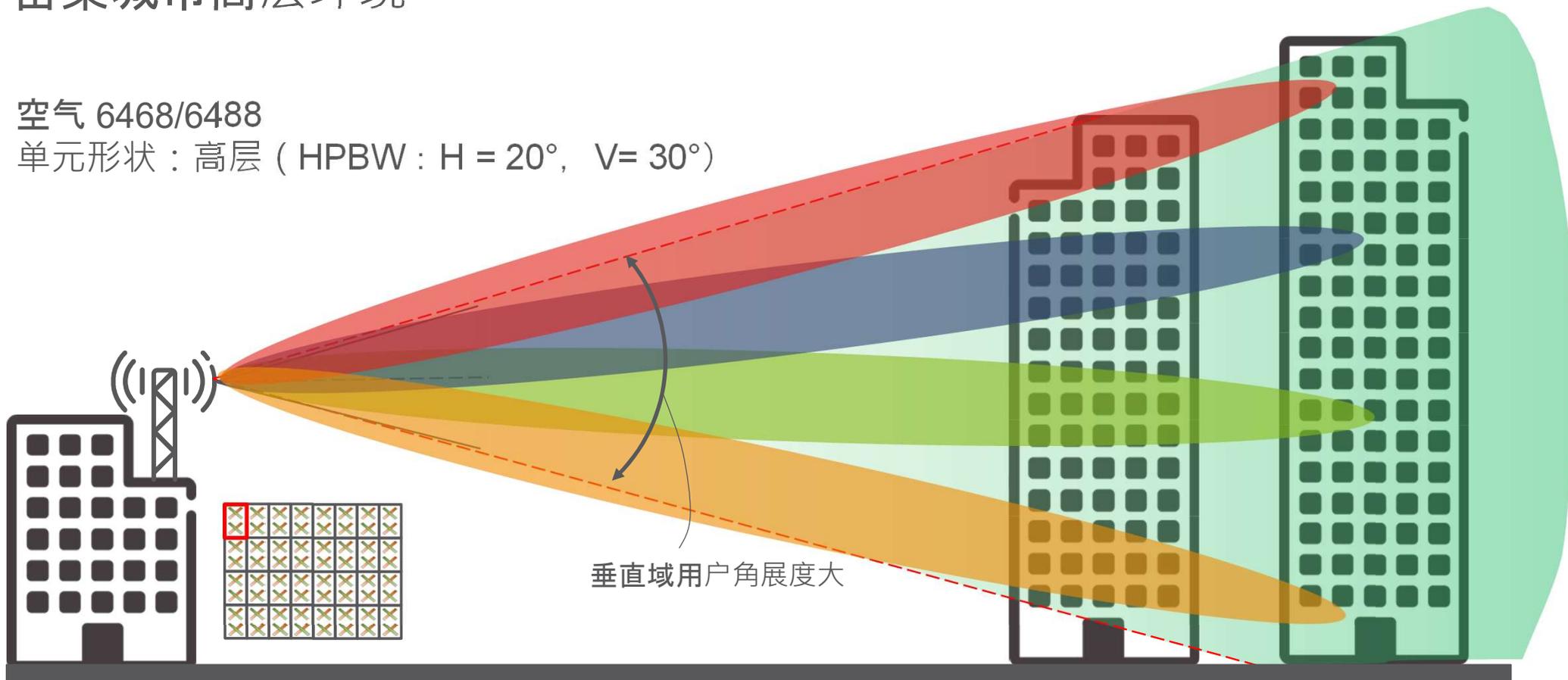
仰角梁宽度

密集城市高层环境



空气 6468/6488

单元形状：高层 (HPBW : $H = 20^\circ$, $V = 30^\circ$)



仰角梁宽度

郊区平坦环境

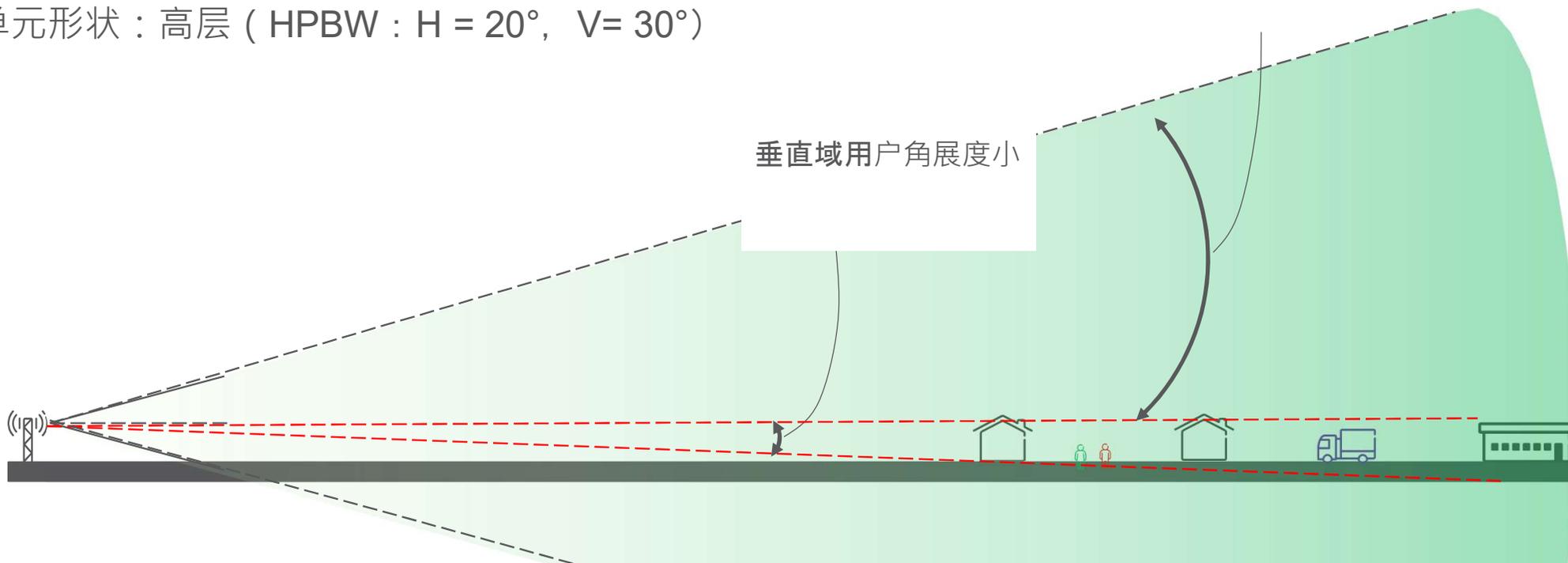


空气 6468/6488

单元形状：高层 (HPBW : $H = 20^\circ$, $V = 30^\circ$)

垂直领域未利用的巨大潜力

垂直域用户角展度小



没有充分发挥垂直波束控制的潜力

仰角梁宽度

郊区平坦环境

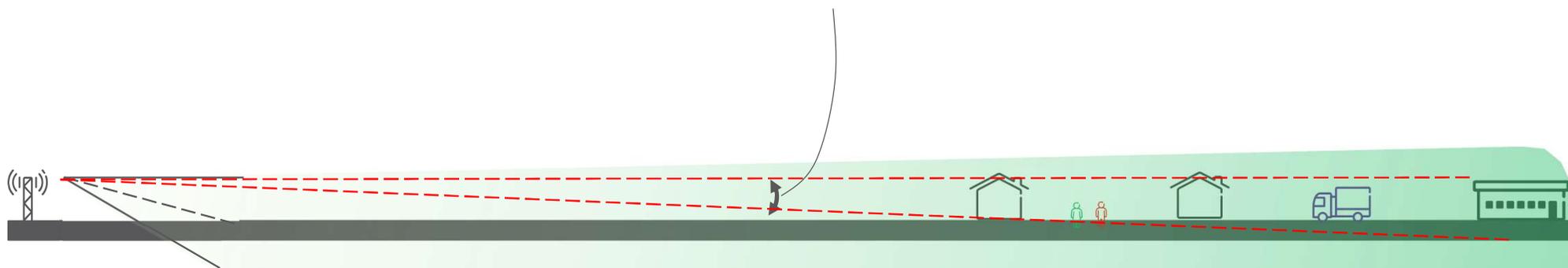


空气 6468/6488

单元形状：高层 (HPBW : $H = 20^\circ$, $V = 30^\circ$)

向下倾斜： 15°

垂直域用户角展度小



向下倾斜不会增加增益

仰角梁宽度

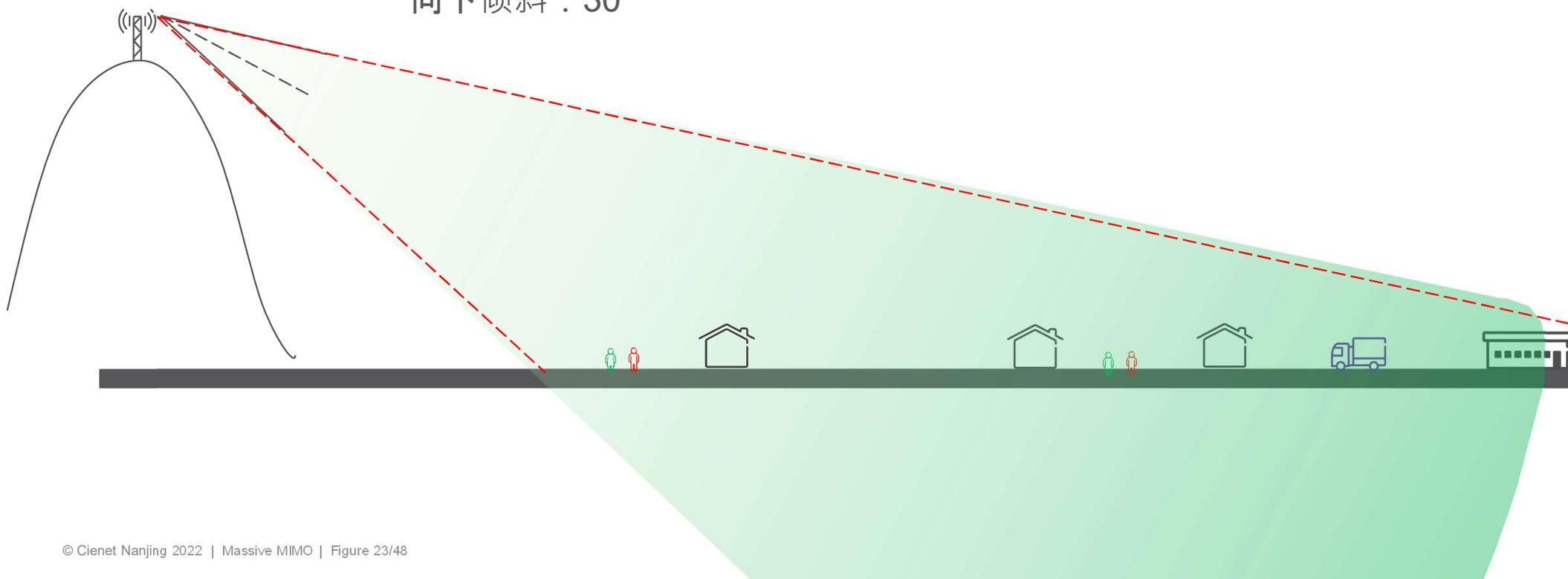
郊区平坦环境



空气 6468/6488

单元形状：高层 (HPBW : $H = 20^\circ$, $V = 30^\circ$)

向下倾斜： 30°



仰角梁宽度

郊区平坦环境

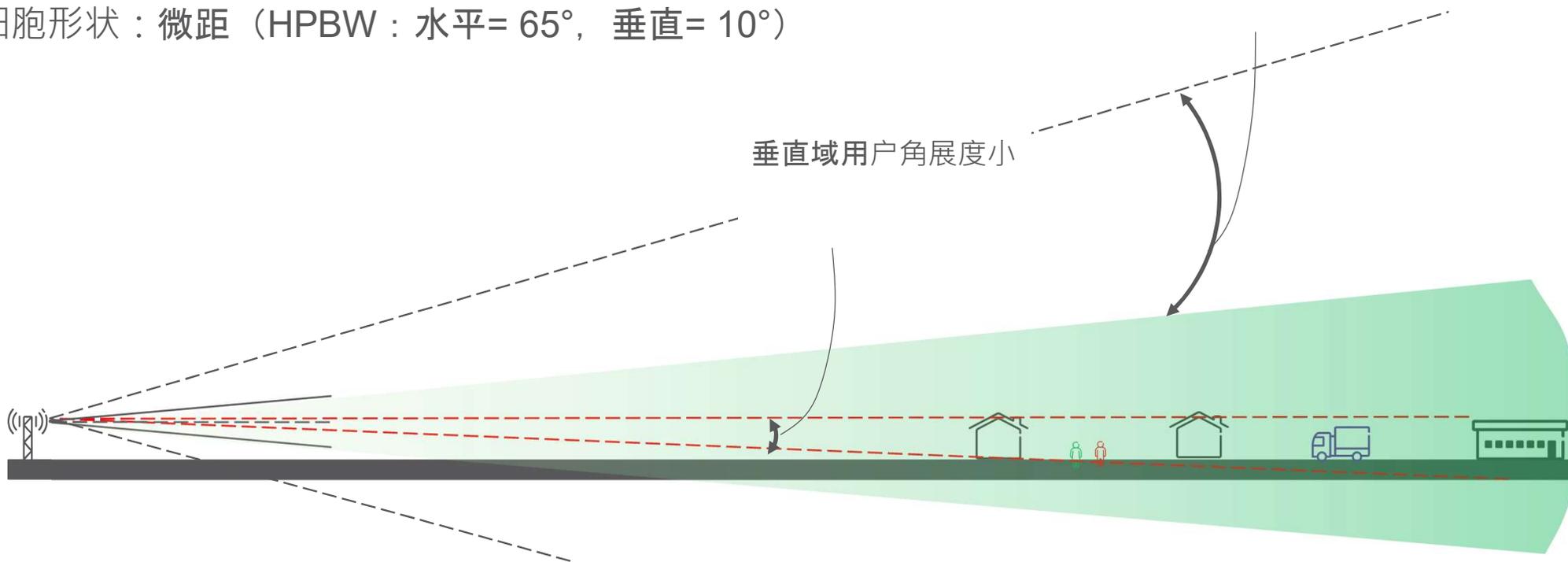


空气 6468/6488

细胞形状：微距（HPBW：水平= 65°，垂直= 10°）

垂直领域未利用的巨大潜力

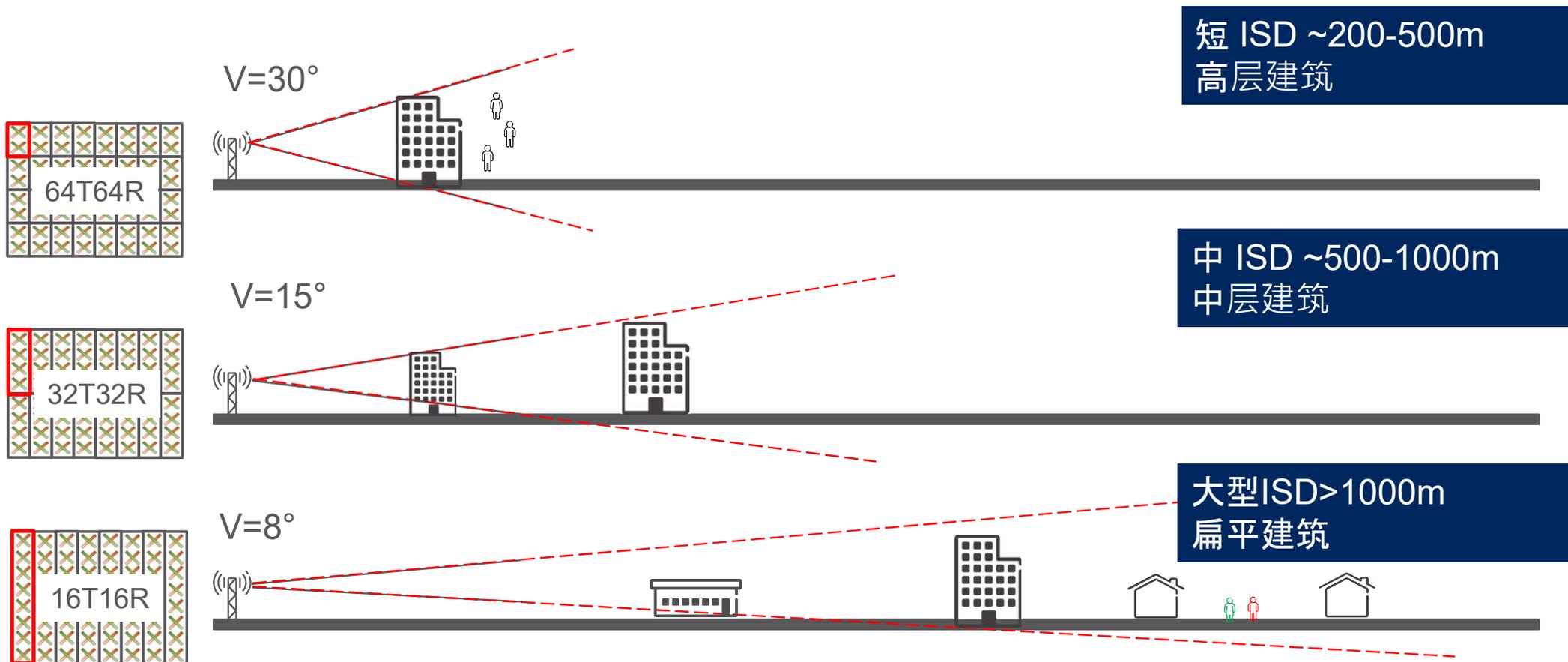
垂直域用户角展度小



宏单元形状未充分利用 64T64R 的全部潜力

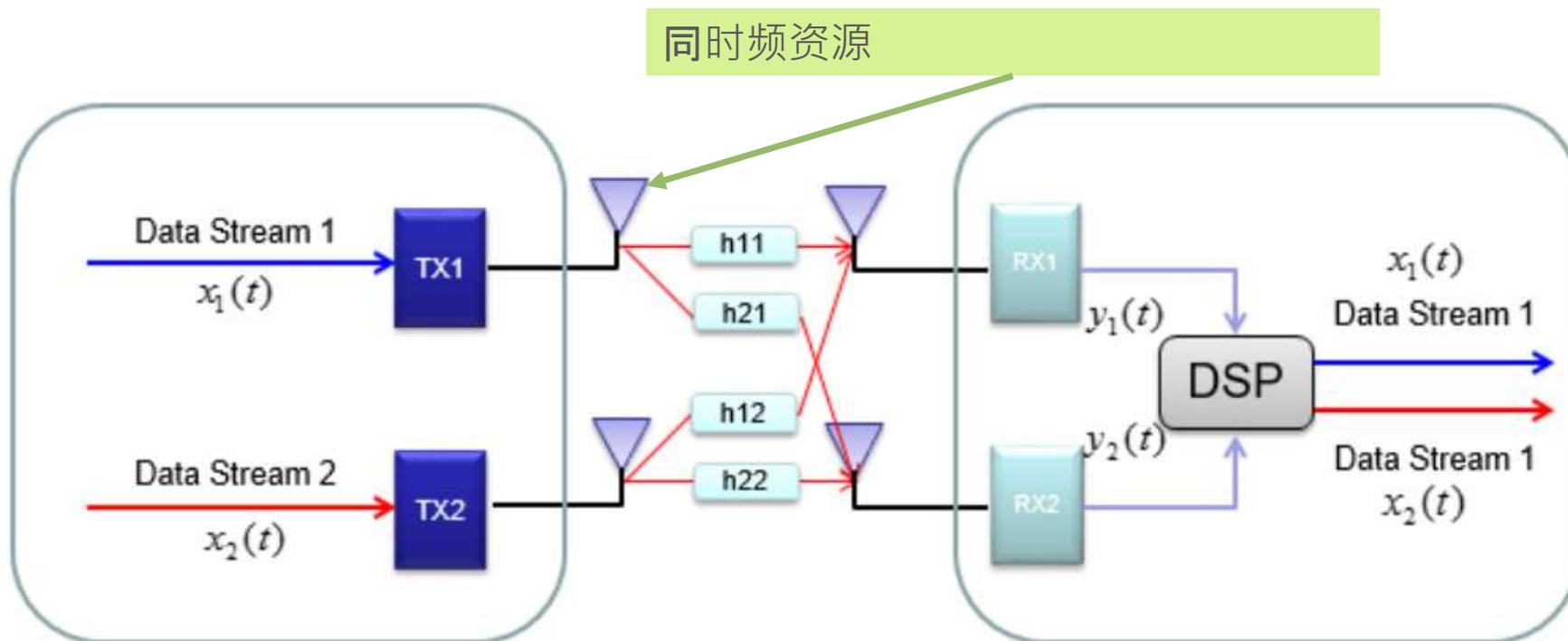
天线配置

产品定位

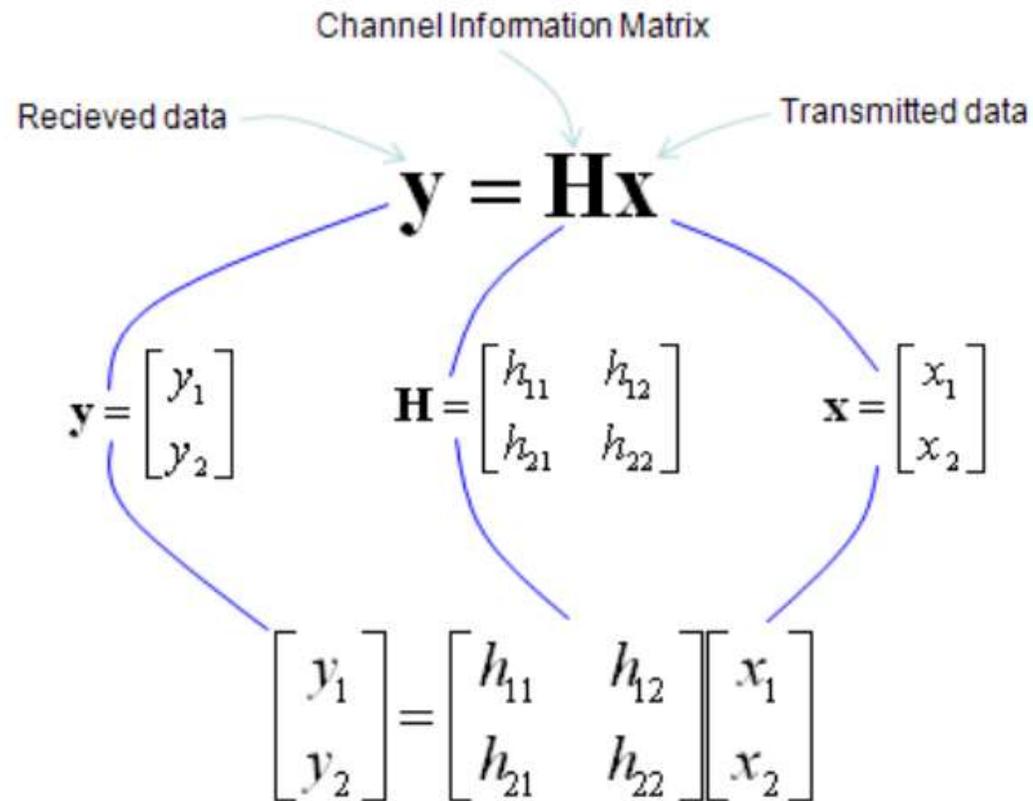




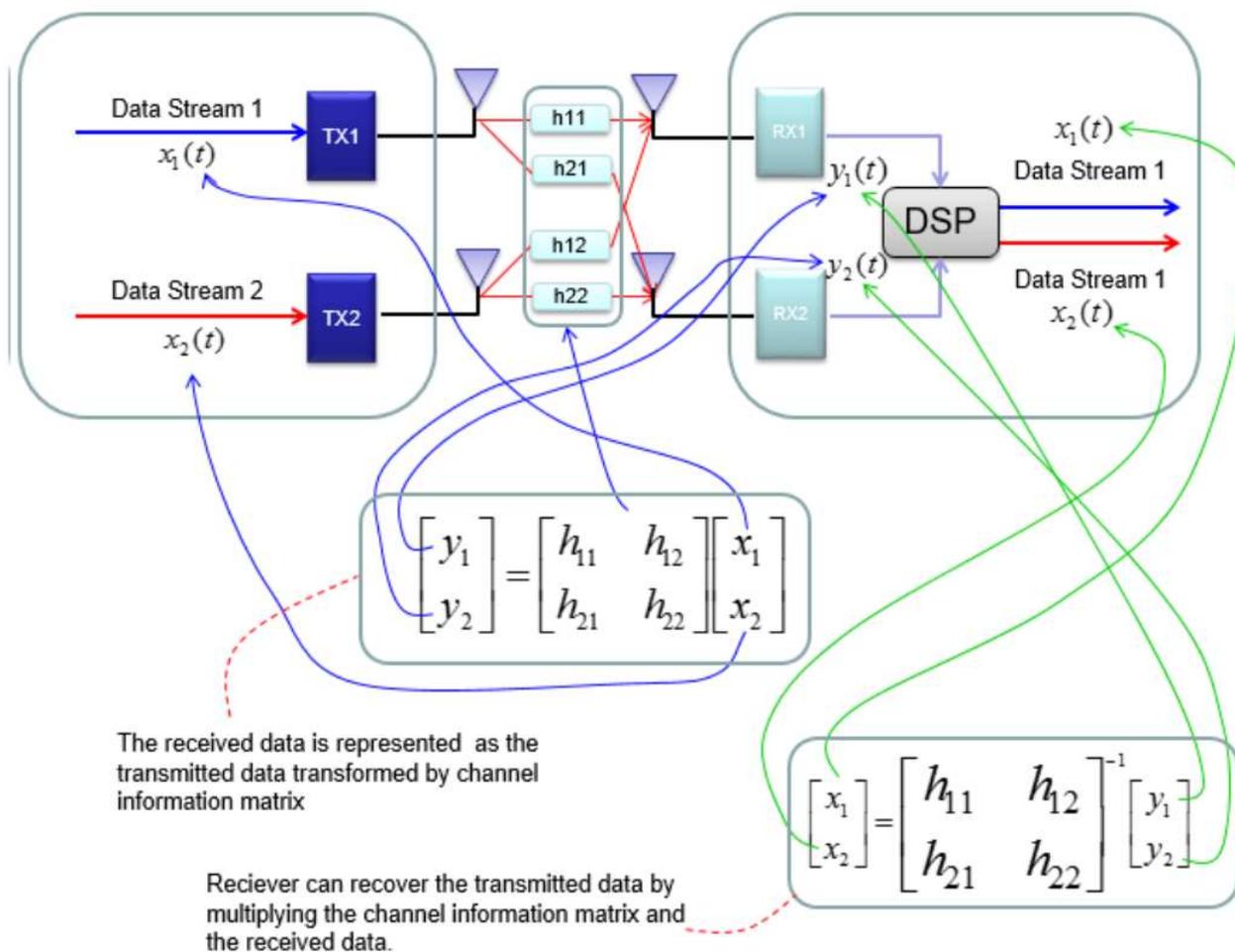
空间复用



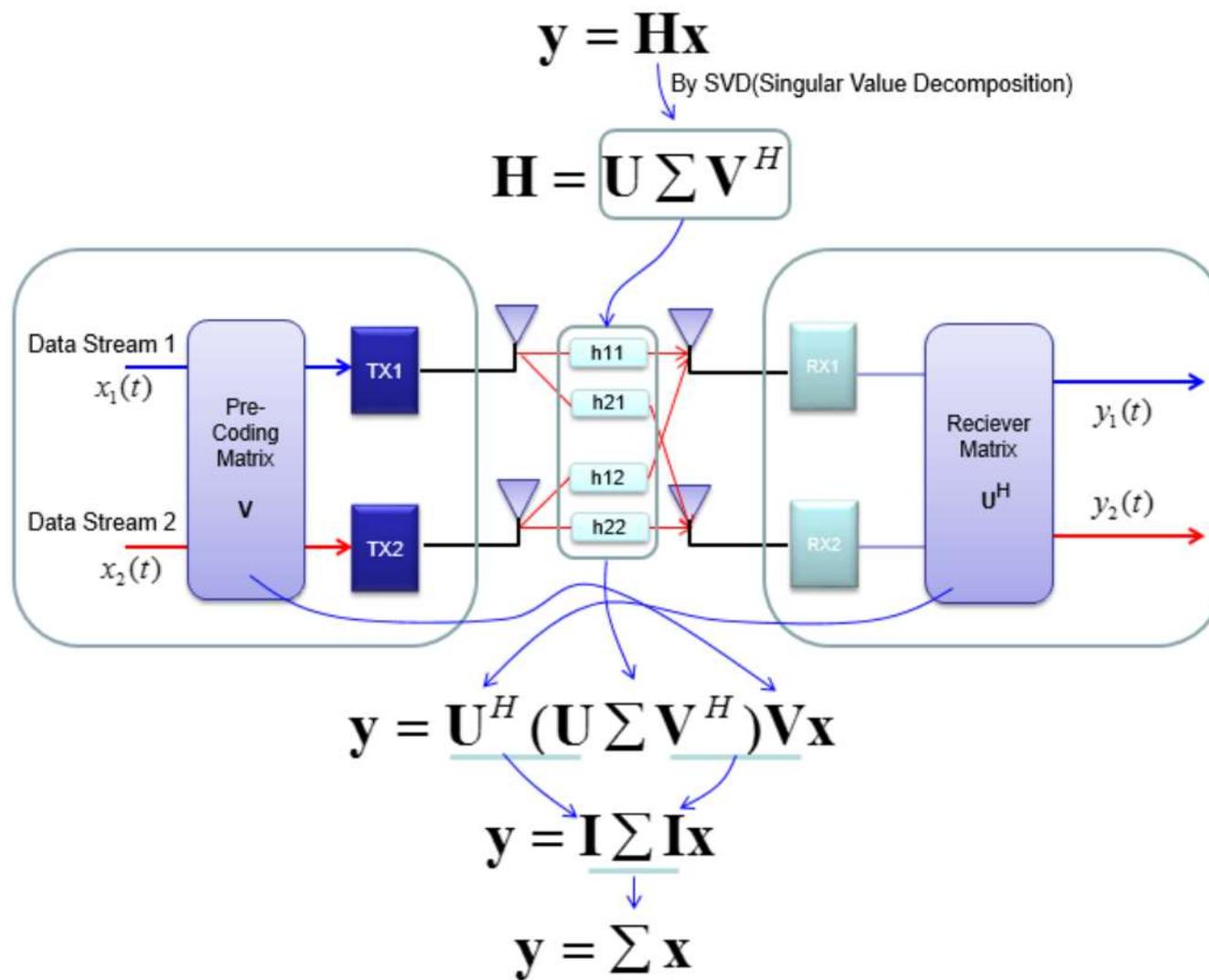
空间复用



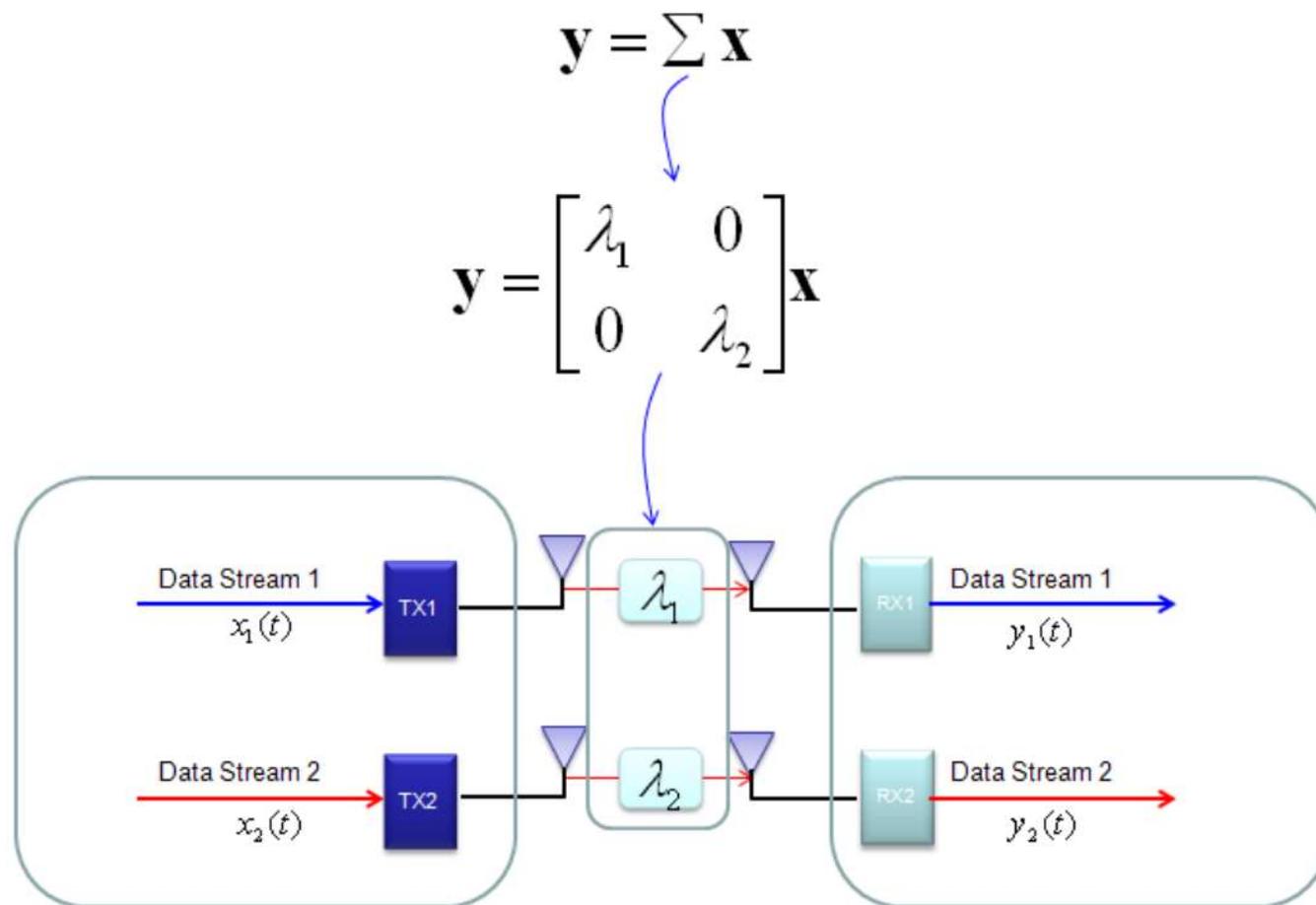
空间复用



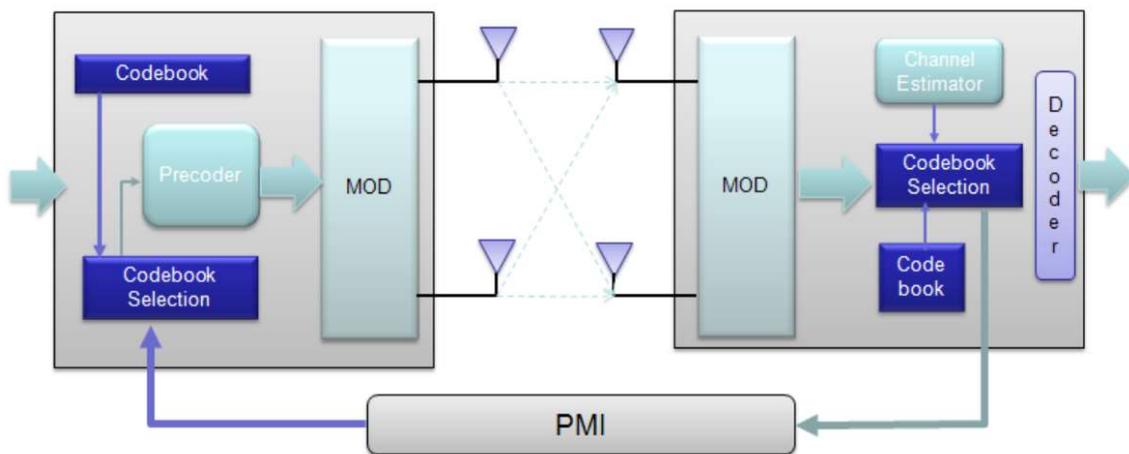
空间复用



空间复用



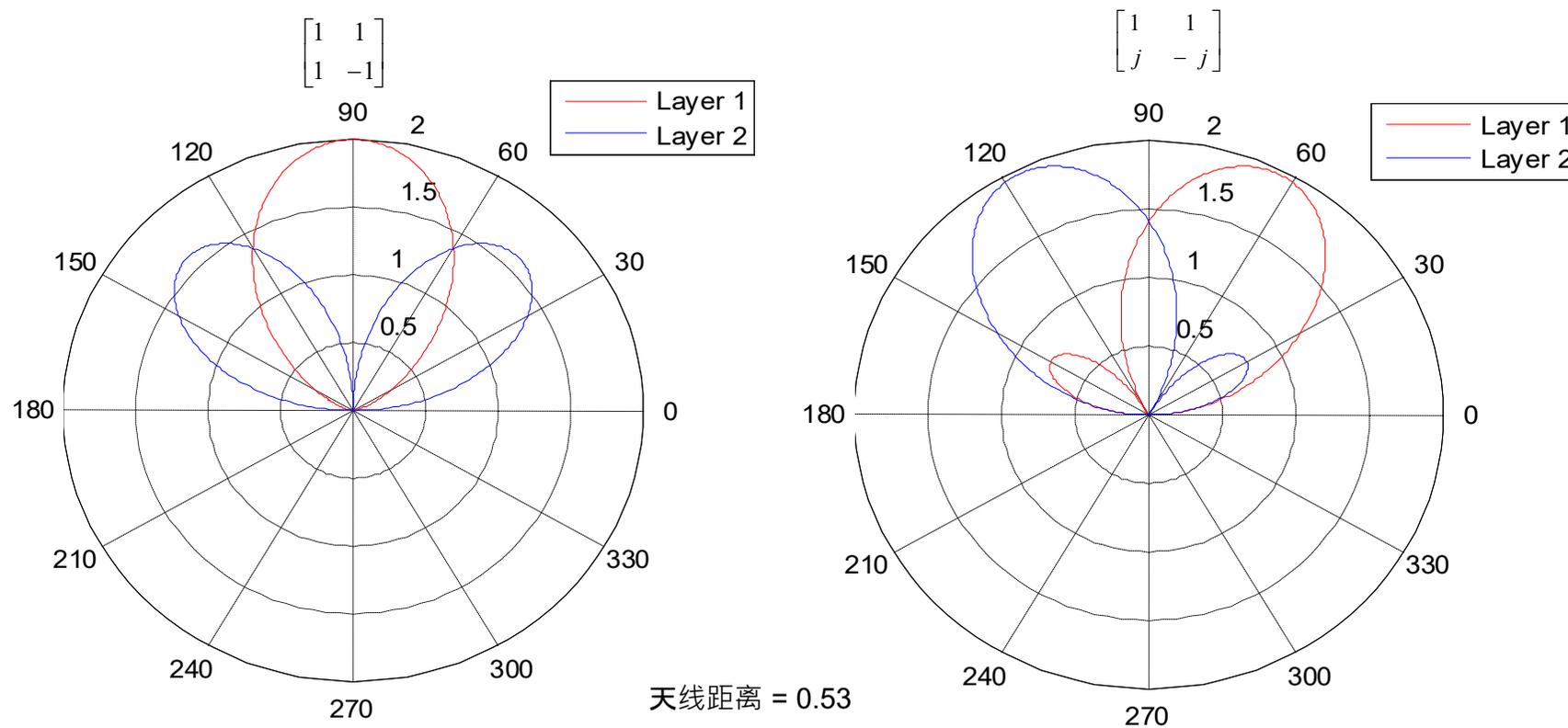
空间复用



预编码器码本

密码本 指数	层数 $\lambda_L = 1$	$\lambda_L = 2$
0	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	
1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
2	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix}$
3	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$	—

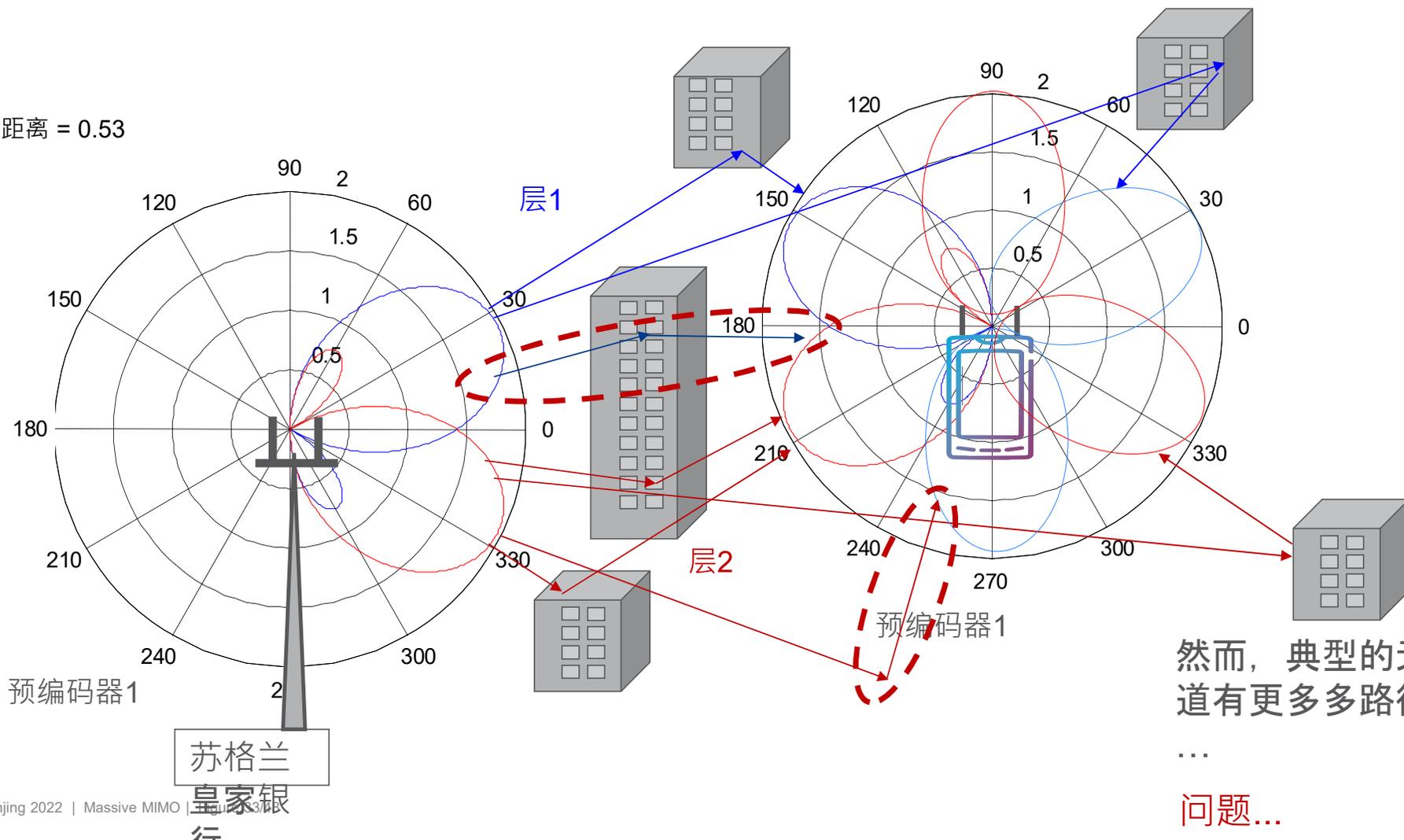
具有同极化天线的两个预编码器的辐射方向图



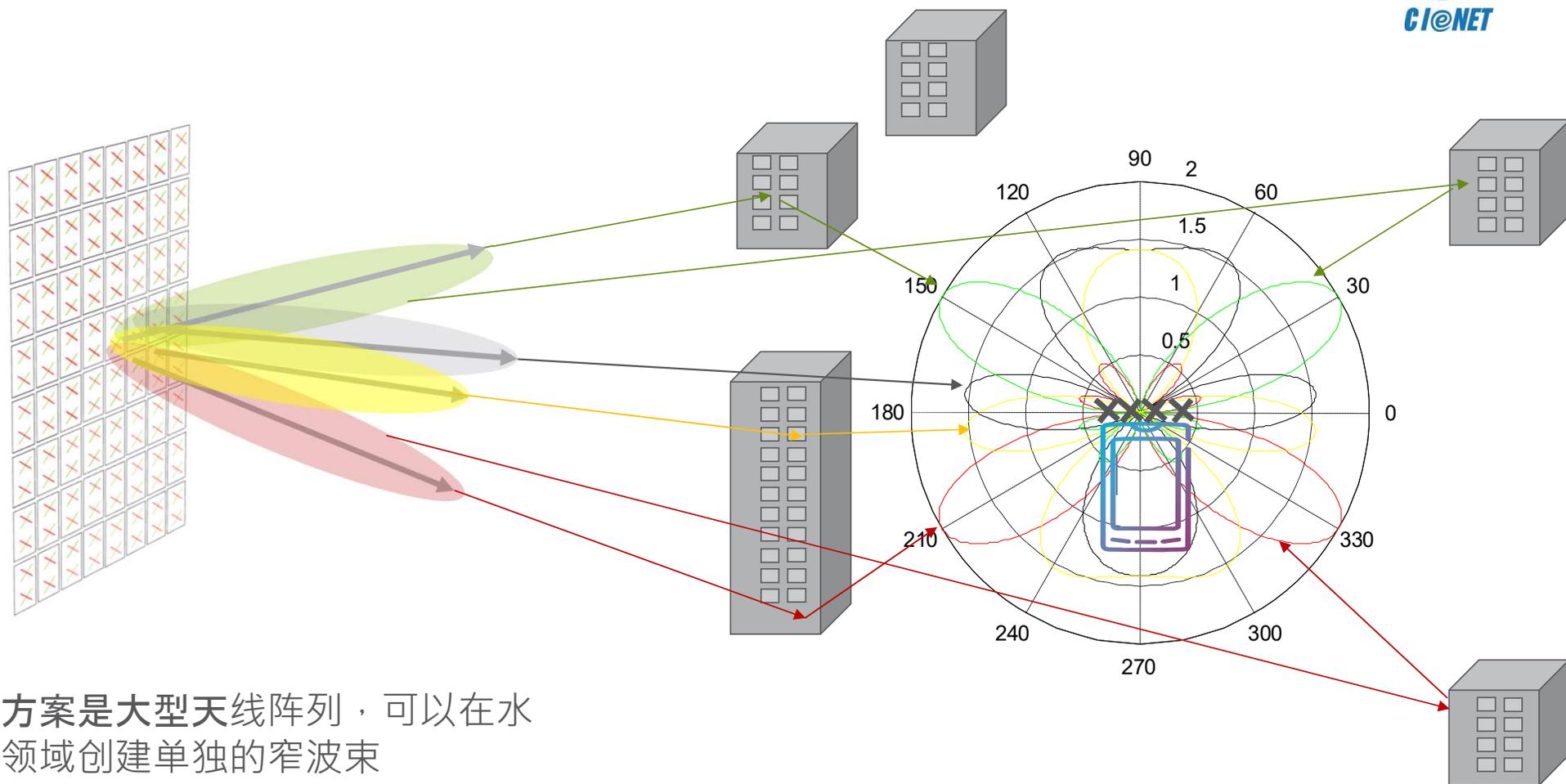
例子 的空间多路复用



天线距离 = 0.53



4 或 8层数 使用128T128R大批 -例子

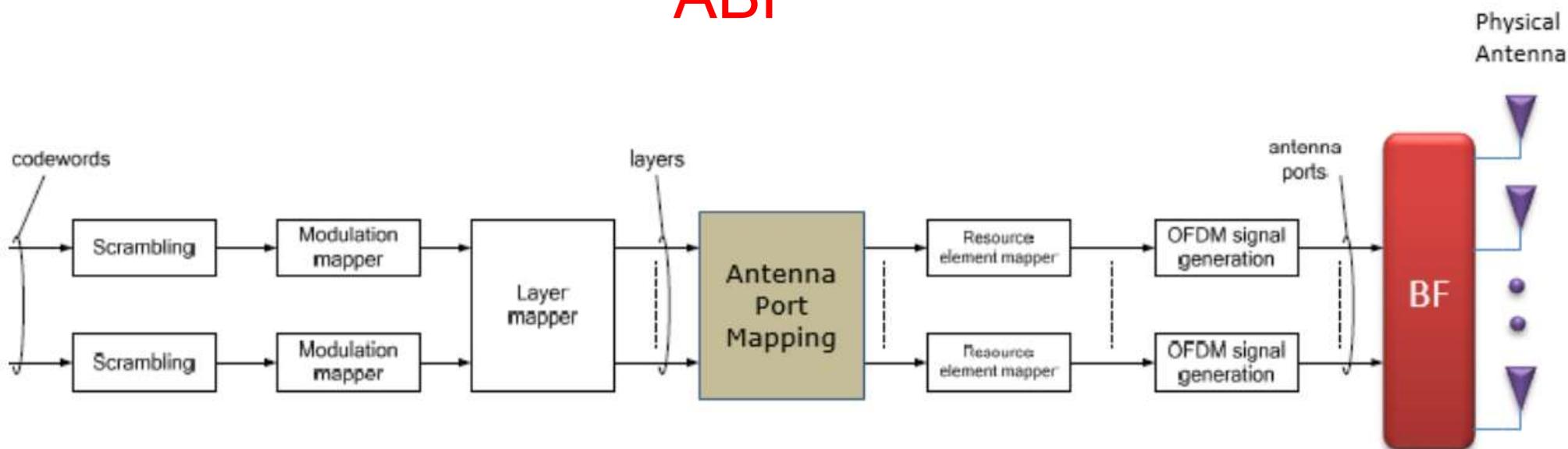


一种解决方案是大型天线阵列，可以在水平和垂直领域创建单独的窄波束

NR 大规模 MIMO

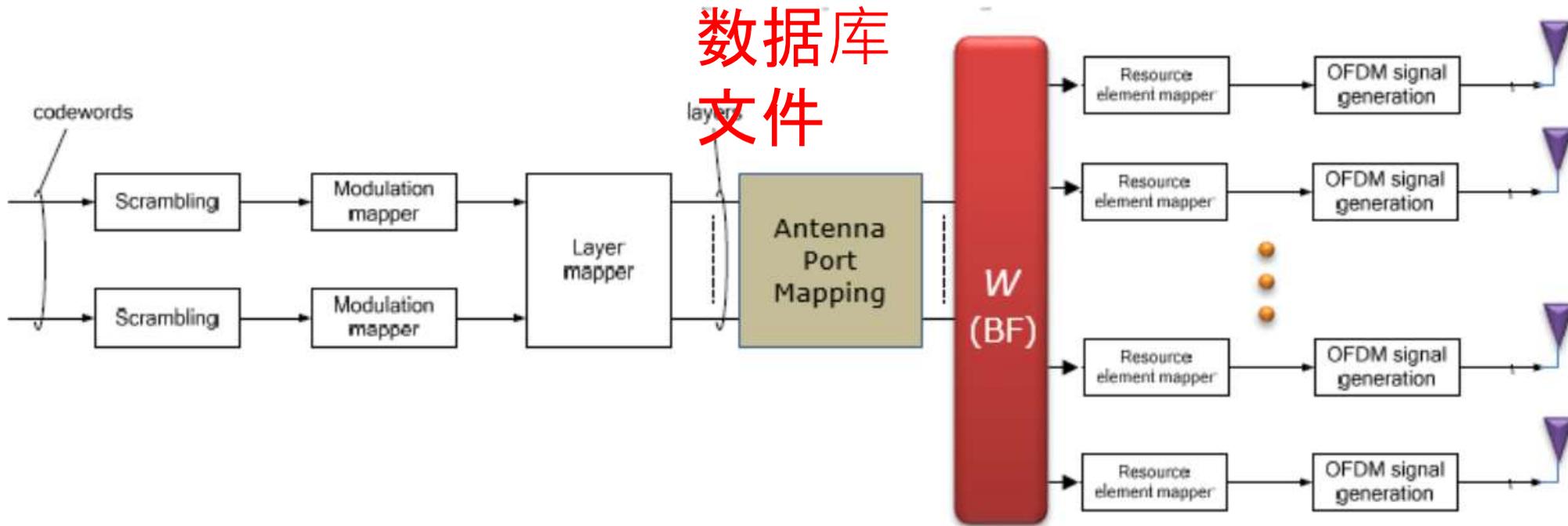


ABF

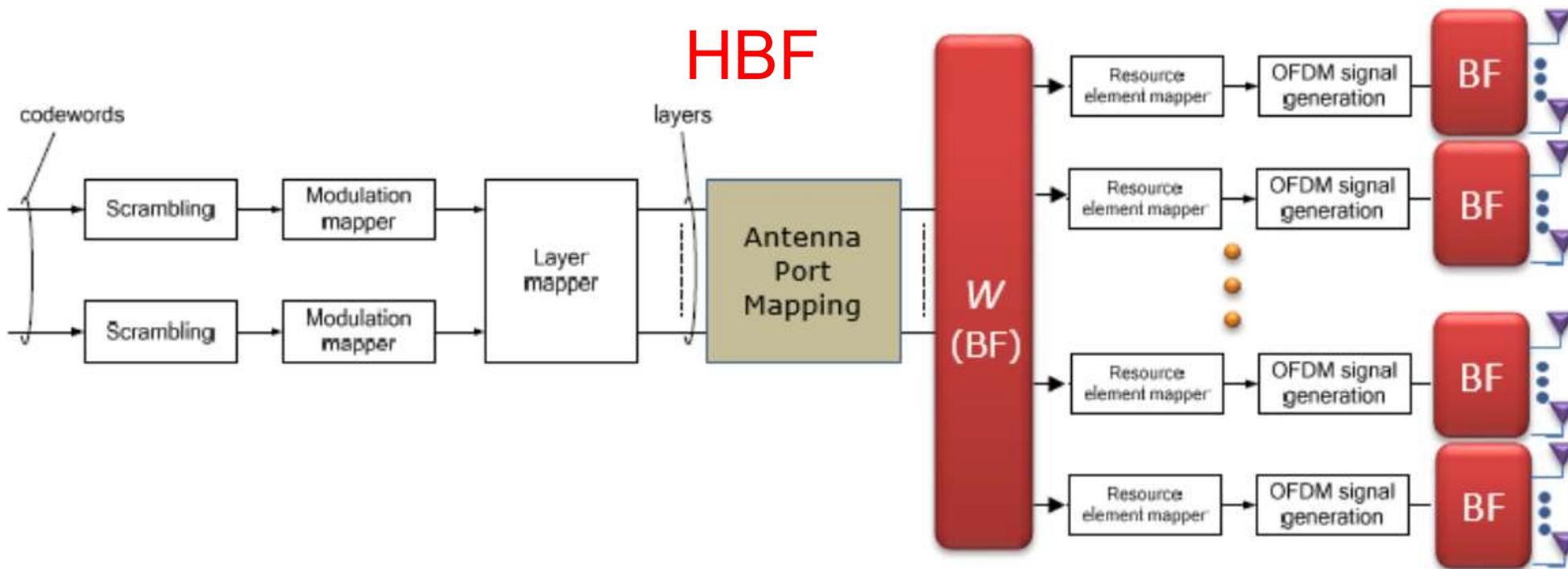


NR 大规模 MIMO

数据库
文件



NR 大规模 MIMO



NR DL PDSCH



› DL PDSCH – 单传输方案 (~TM10), 1-8 层

– 基于码本的传输

- › 基站发送CSI-RS UE选择并报告最佳预编码器 (采购经理人指数) 或梁 (显色指数)



– 非基于码本的传输

- › UE发送SRS和基站假设互易性确定预编码器

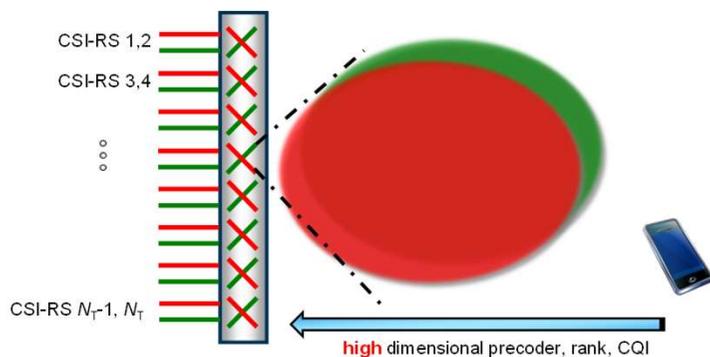


两节 CSI 反馈课程



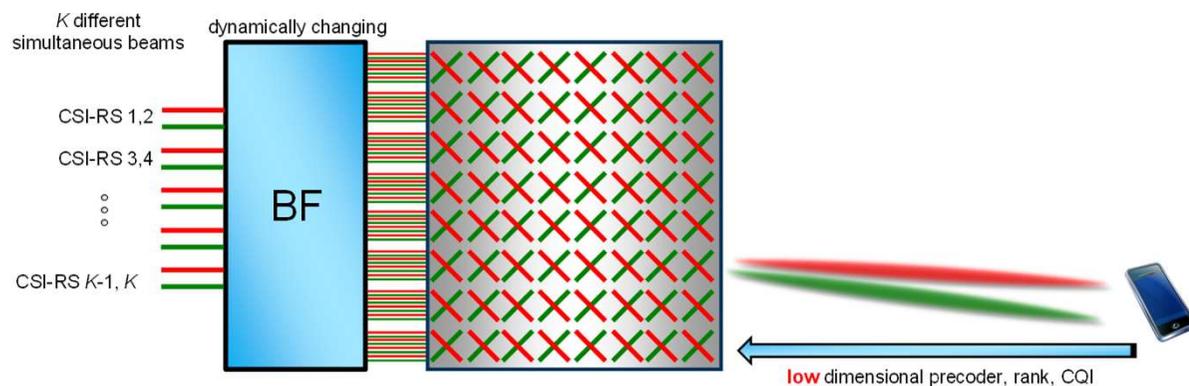
A 类：非波束成形 CSI-RS

- › 更多 CSI-RS 端口 (32) **灵活的** 数字命理学 (不仅仅是二的幂)
- › 预编码器和 CQI 由 UE 联合确定 反馈到网络
- › #CSI-RS 端口 \approx #antennas (可以修复虚拟化)



B 类：波束成形 CSI-RS

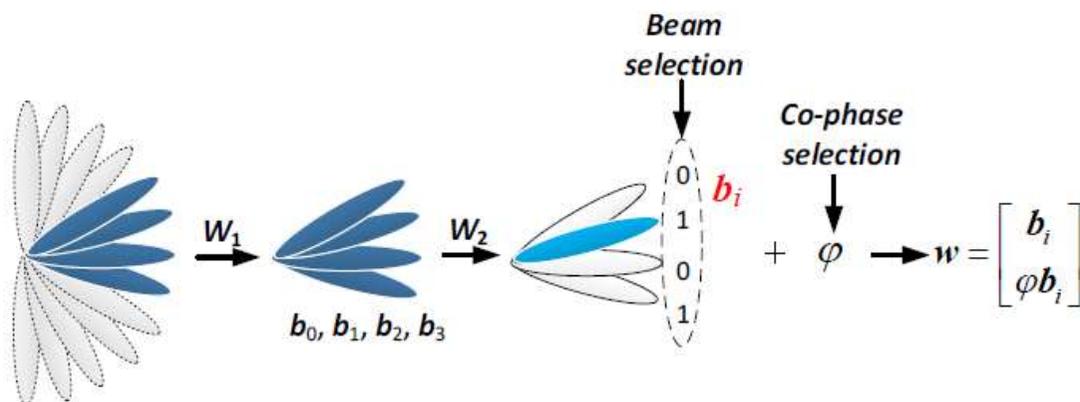
- › CSI-RS 波束成形以获得准确的 CQI
- › 根据发现信号或信道互易性确定波束
- › 光束追踪通过 CSI 反馈协助连续细化还可能的
- › 数据包开头的 CQI : CSI-RS 波束的推测调度



NR 大规模 MIMO

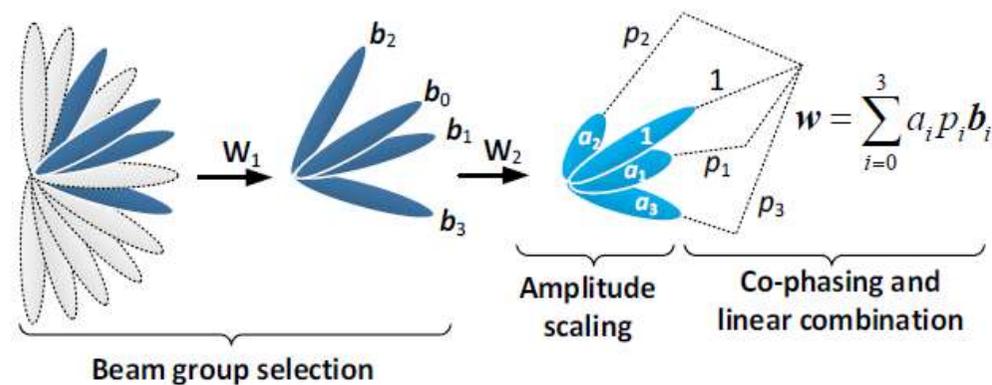


Type-I Channel Status Information



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

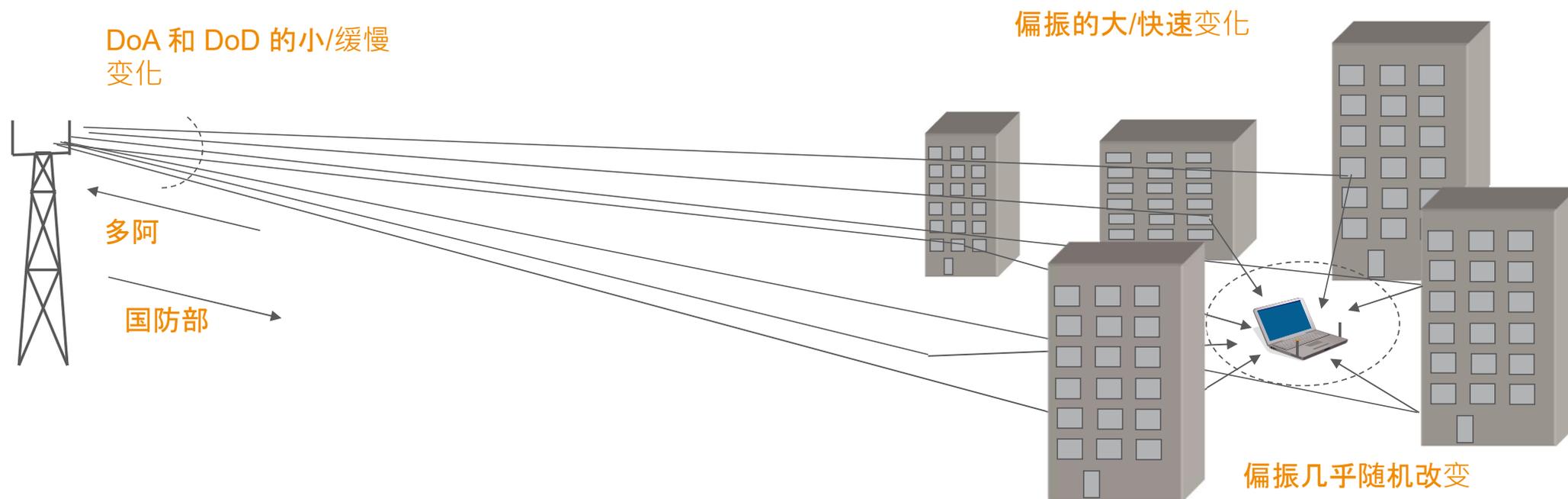
Type-II Channel Status Information



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

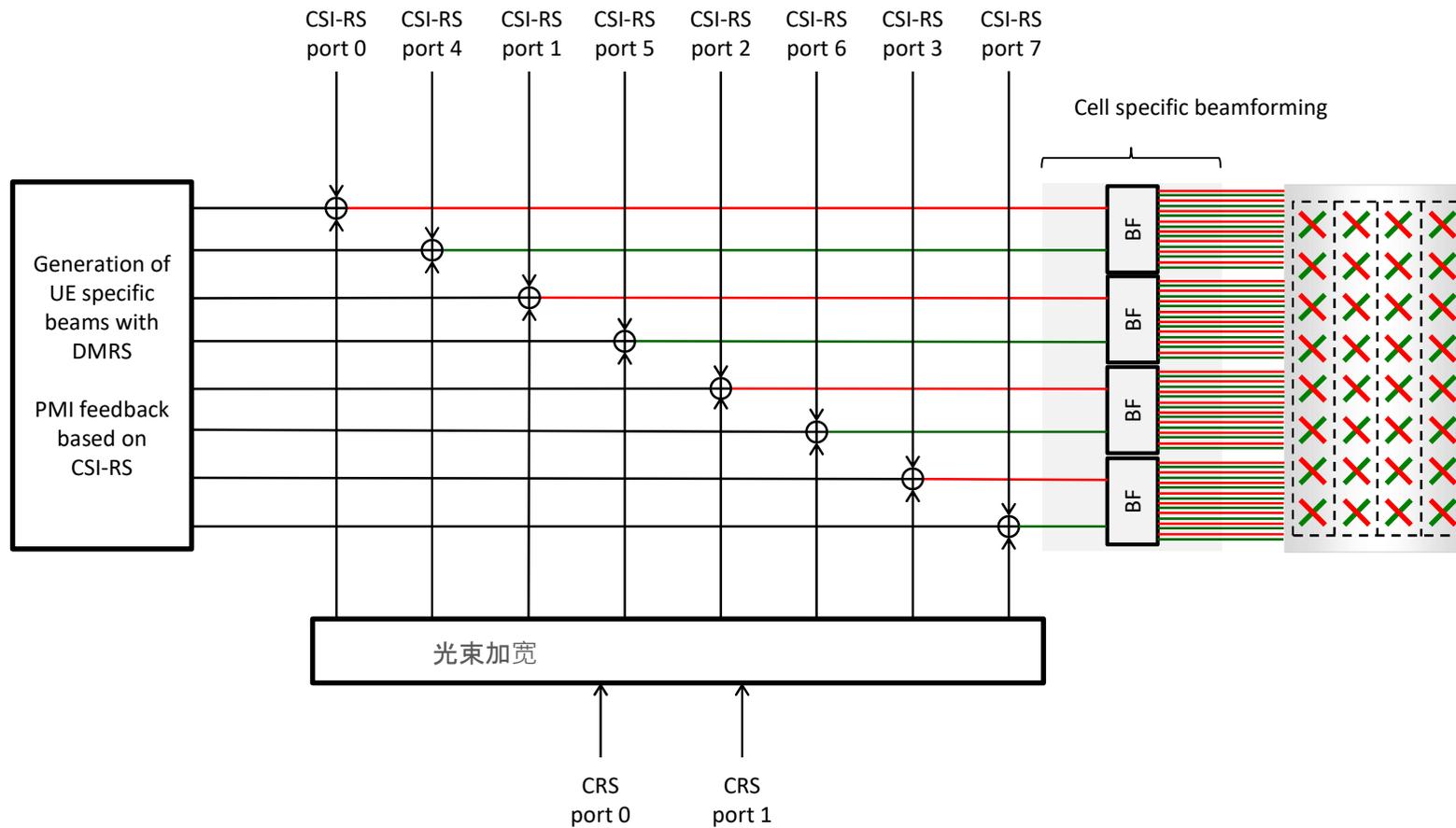
长期与短期渠道特性

- › DoA 变化相当缓慢
 - 主要是由于UE移动
- › 偏振特性变化更快
 - 由于相移、障碍物角度等



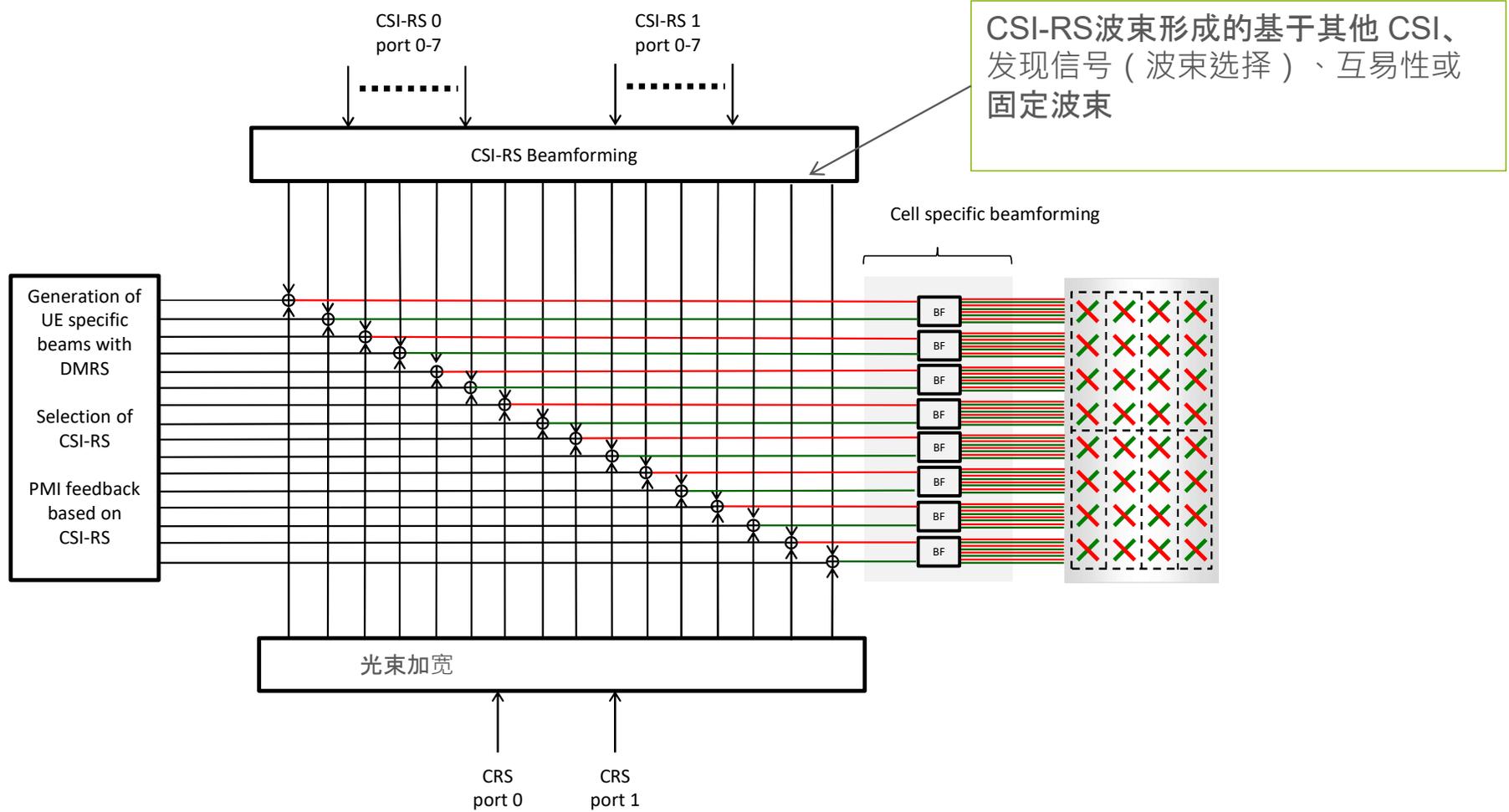
非 BF CSI-RS (相对值10-13)

- 多达 8 个非 BF CSI-RS 端口

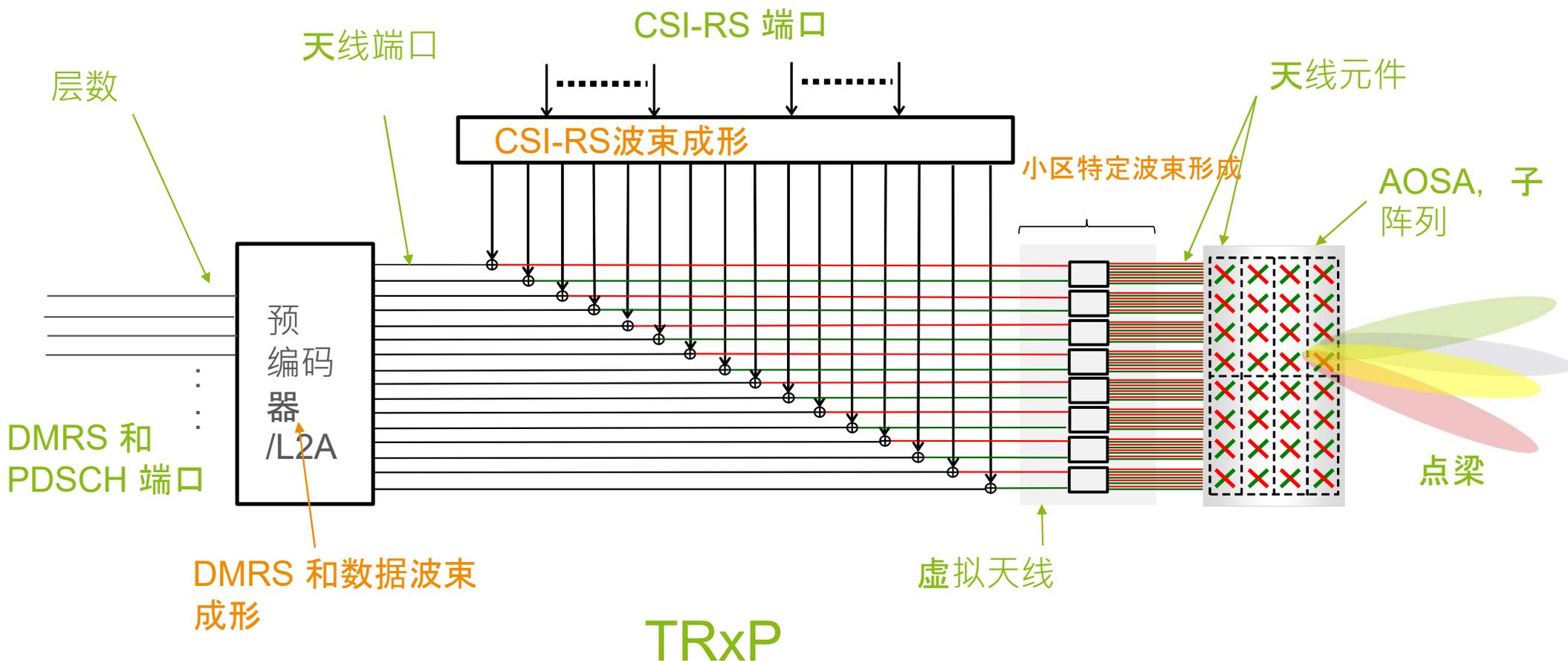


BF CSI-RS (相对值13)

- 多达 16 个 BF CSI-RS 端口



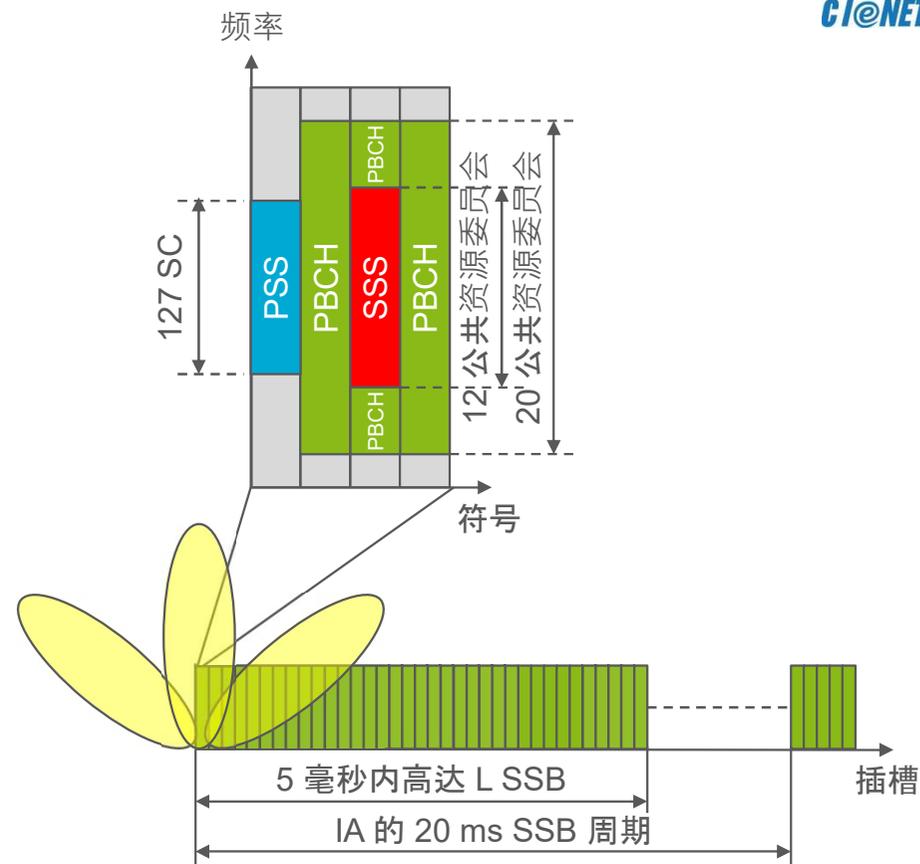
天线端口，元件和层，示例



NR 大规模 MIMO



- › SSB由PSS、SSS和PBCH组成
 - SSB 的参数取决于频段
- › UE执行匹配过滤以找到PSS
 - 3 PSS (如 LTE)
- › UE在频域中检测SSS
 - PSS 和 SSS 一起表示物理 Cell ID (总共 $3 \cdot 336 = 1008$ 个物理小区 ID)
- › UE解码PBCH中包含的MIB
 - 时隙计时
 - 用于 RMSI 调度的 CORESET
- › UE读取RMSI后就可以进行随机接入

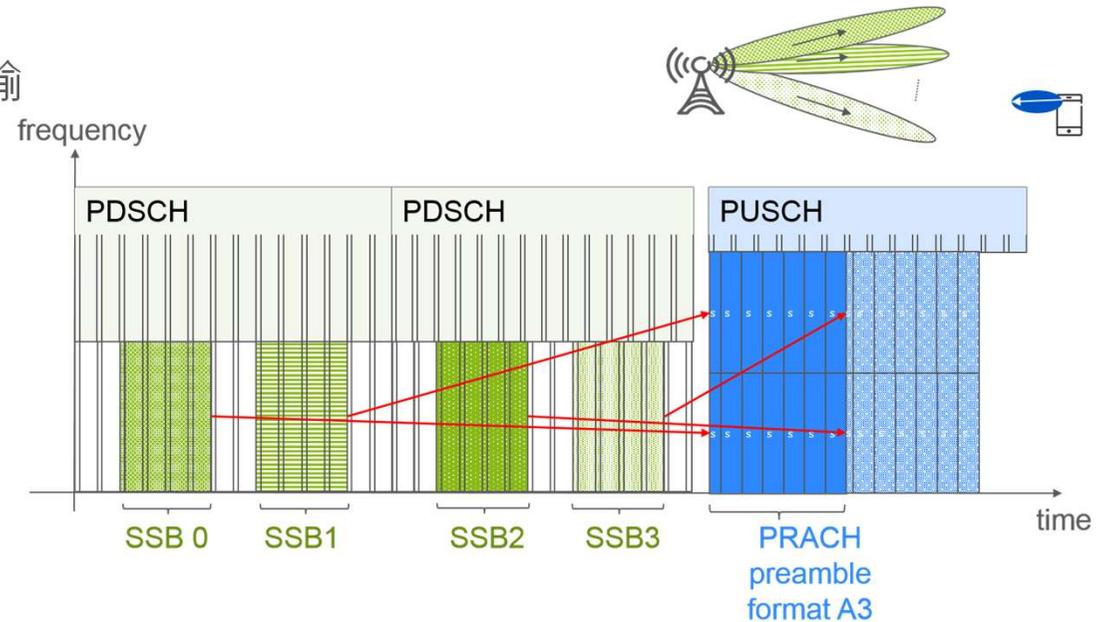


120 kHz 时隙示例

- L SSB 可在不同方向进行波束形成
- L 取决于频率范围

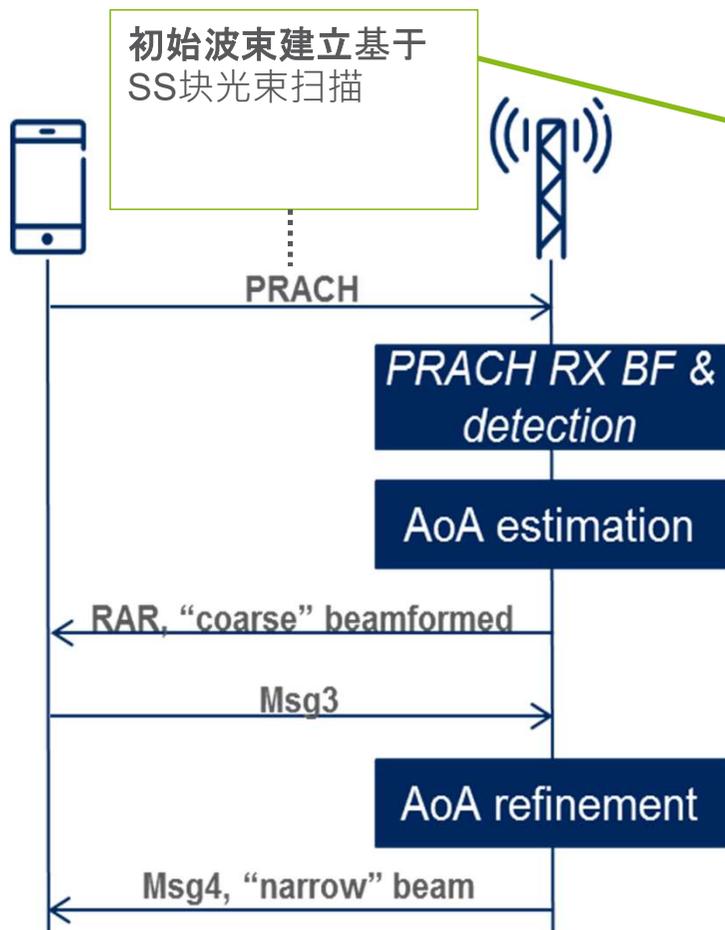
初始波束建立

- › TRP 在 (宽) SS 块波束中传输 SS 块
 - 使用光束扫描
- › UE 找到合适的 TRP SS 块波束
 - 任何高于阈值的 SS
 - 也适合 RX 光束
- › UE 在 a 中发送前导码 普拉奇与 SS 波束关联的资源
 - 系统信息中指示的 PRACH 传输时间
- › TRP 扫描其 RX 波束以接收 PRACH 传输



波束成形中gNB-例子

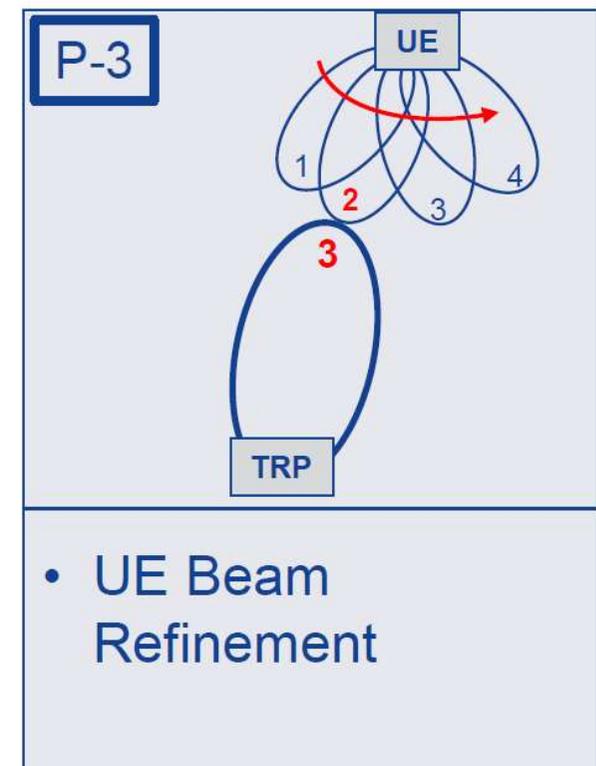
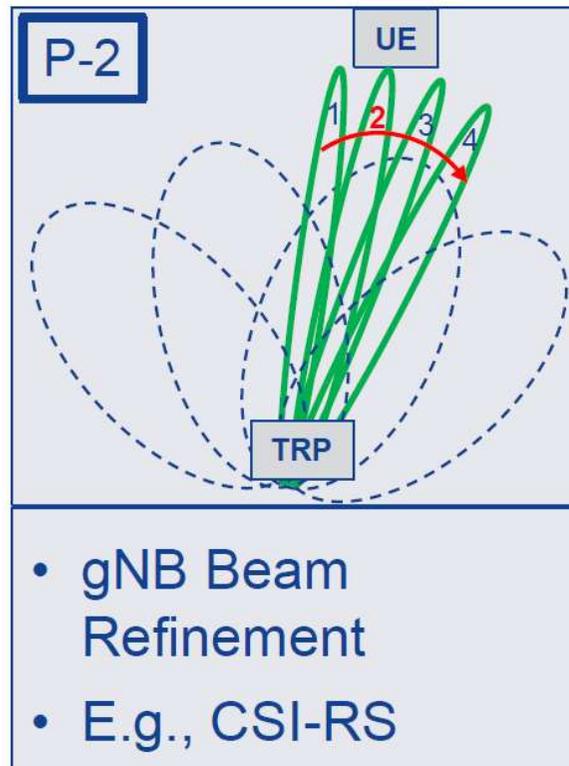
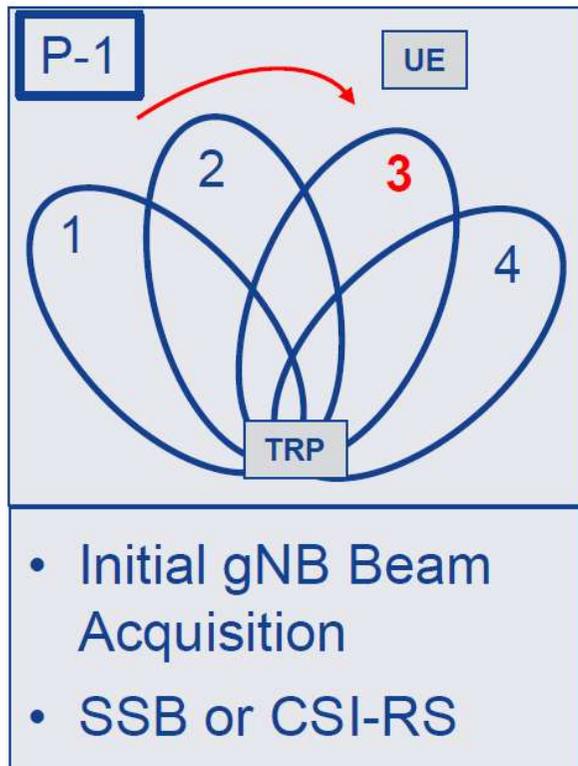
Massive MIMO 波束赋形和波束管理的一些概念



- › 波束成形用于
 - SI (SS 块)
 - RA : 波束扫描 (SS -> PRACH) 、RAR
 - › 光束细化
- › 光束管理、光束对应
 - 链接建立时
- › 中证收购
 - 基于元素
 - 基于波束 (固定波束、自适应波束)
- › 数据传输
 - 基于元素
 - 基于梁
 - › 波束选择 (CSI-RS, 互易)
 - › 光束开关 (CSI-RS, 互易)
 - › 光束缩小

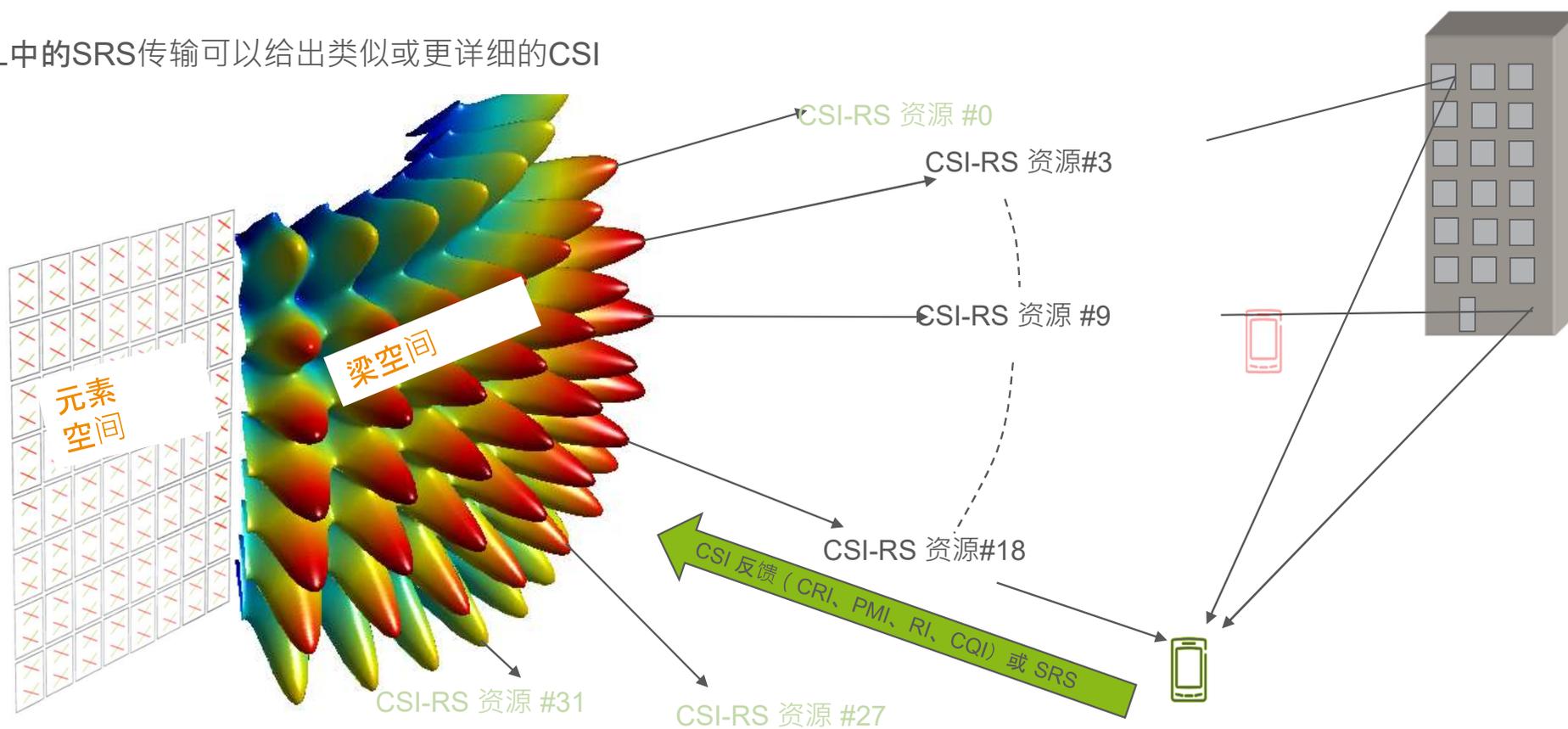
波束成形中gNB-例子

Massive MIMO 波束赋形和波束管理的一些概念



基于波束的 CSI 采集 - 示例

- › 一组预定义的固定 x 偏振光束（戈布）在 2D 中 -> “方向空间” 或者 “梁空间”
 - › 波束成形的 CSI-RS 资源在不同的波束（例如#0-31）和极化中传输
 - › **CSI 反馈**：绿色 UE 通过 CRI 反馈测量并报告最佳资源（例如#3、9和18）
- 或者
- › **互惠**：UL 中的 SRS 传输可以给出类似或更详细的 CSI





tianyang.pang@cienet.com.cn