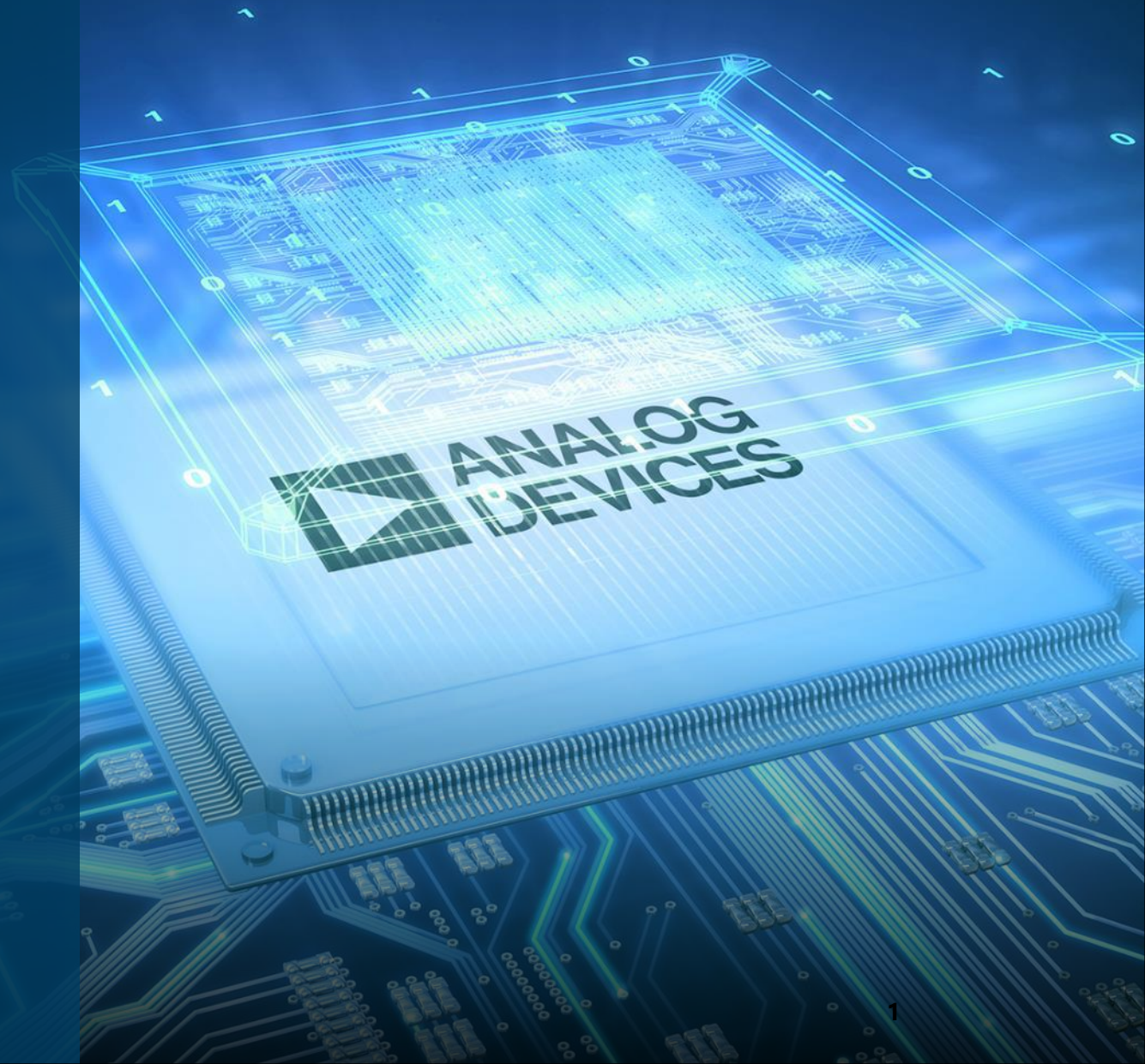


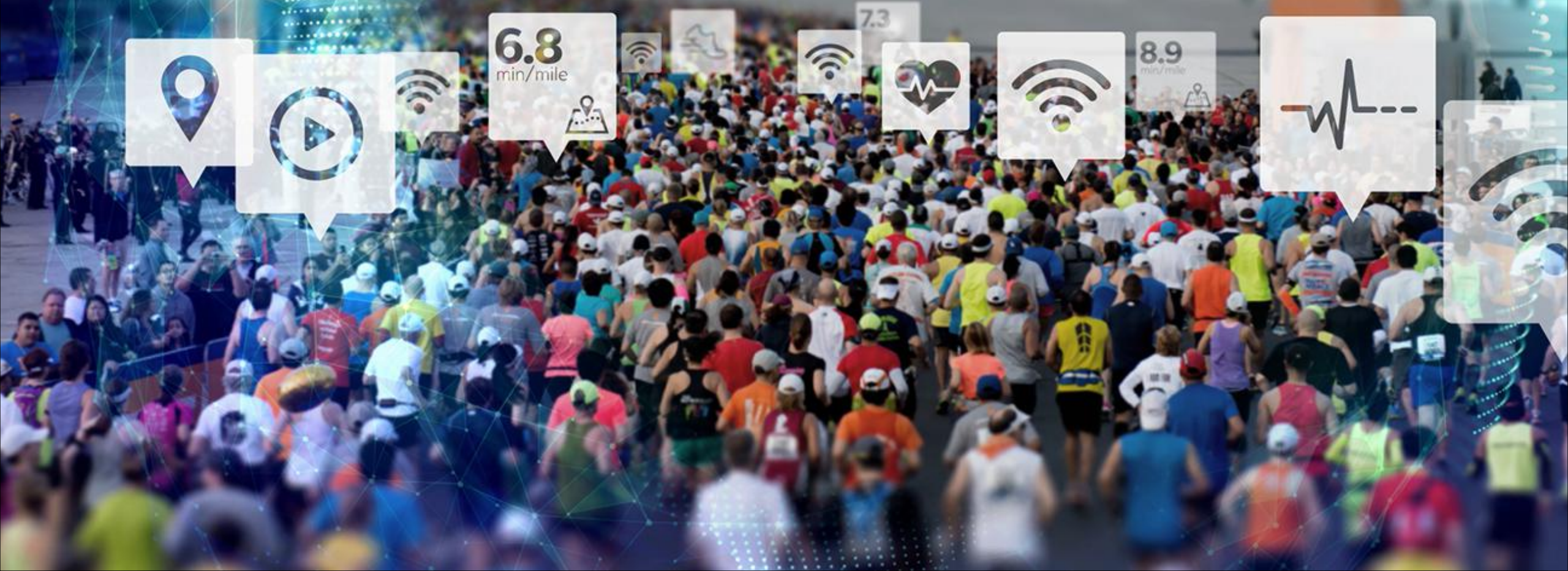
5G毫米波无线电射频技术



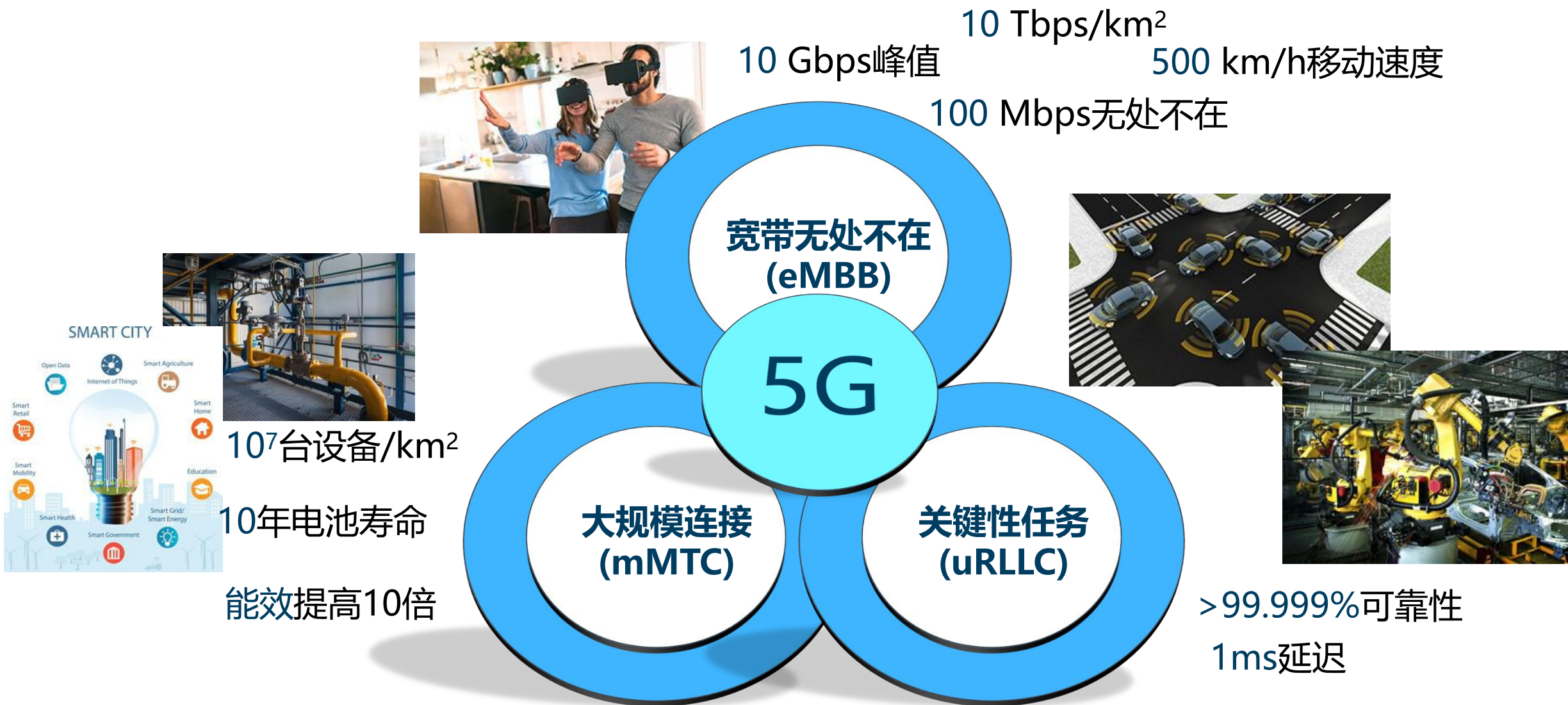
- ▶ **5G简述**
- ▶ **毫米波部署**
 - 路径损耗
 - 典型链路预算
- ▶ **波束成型架构**
 - 模拟
 - 混合
 - 数字
- ▶ **比特到毫米波无线电**
- ▶ **问答环节**

2023 10亿以上5G用户

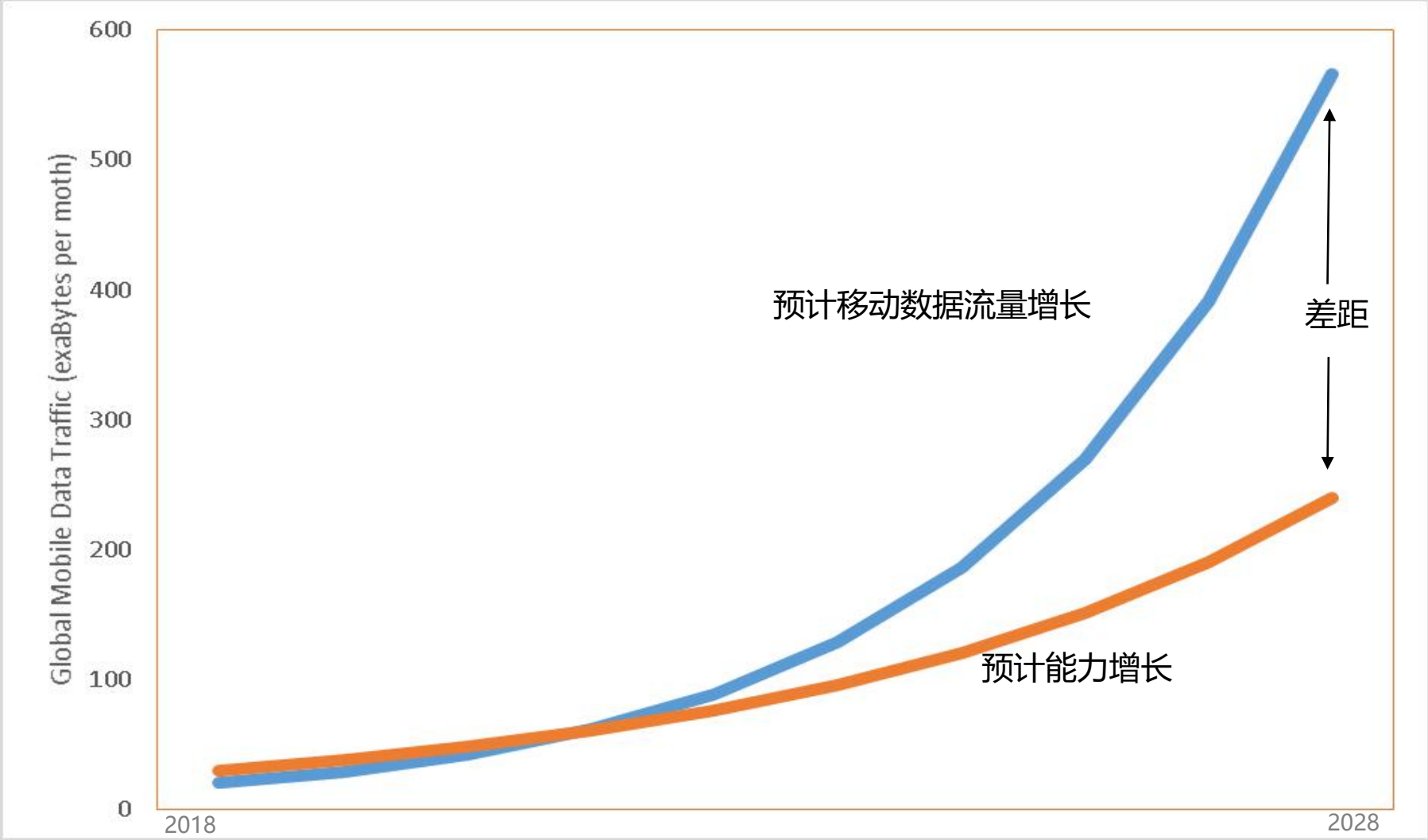
“爱立信移动报告（2018年6月）”



5G: 面向未来的灵活网络



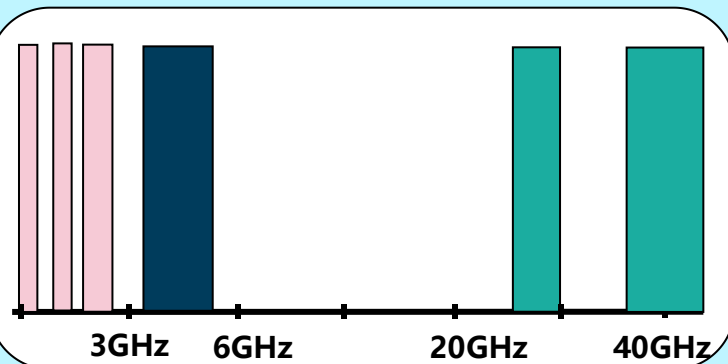
全球移动数据持续增长.....看不到尽头



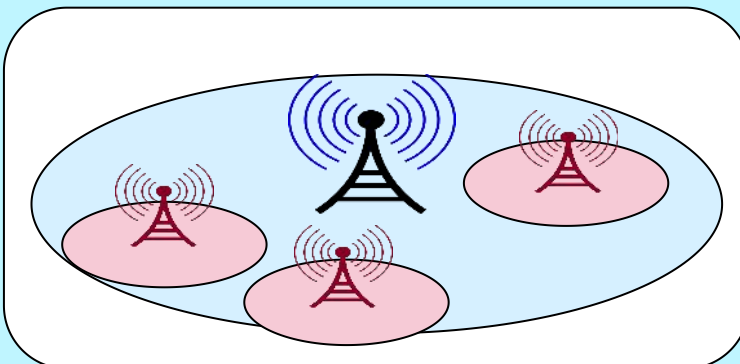
$$\text{容量 (b/s/面积)} = B \times N \times h$$

B = 可用带宽 N = 蜂窝数/面积 h = 频谱效率

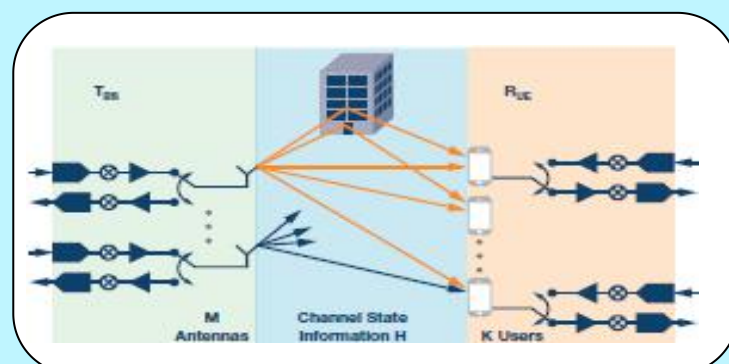
C波段 + 毫米波



小型蜂窝



大规模MIMO

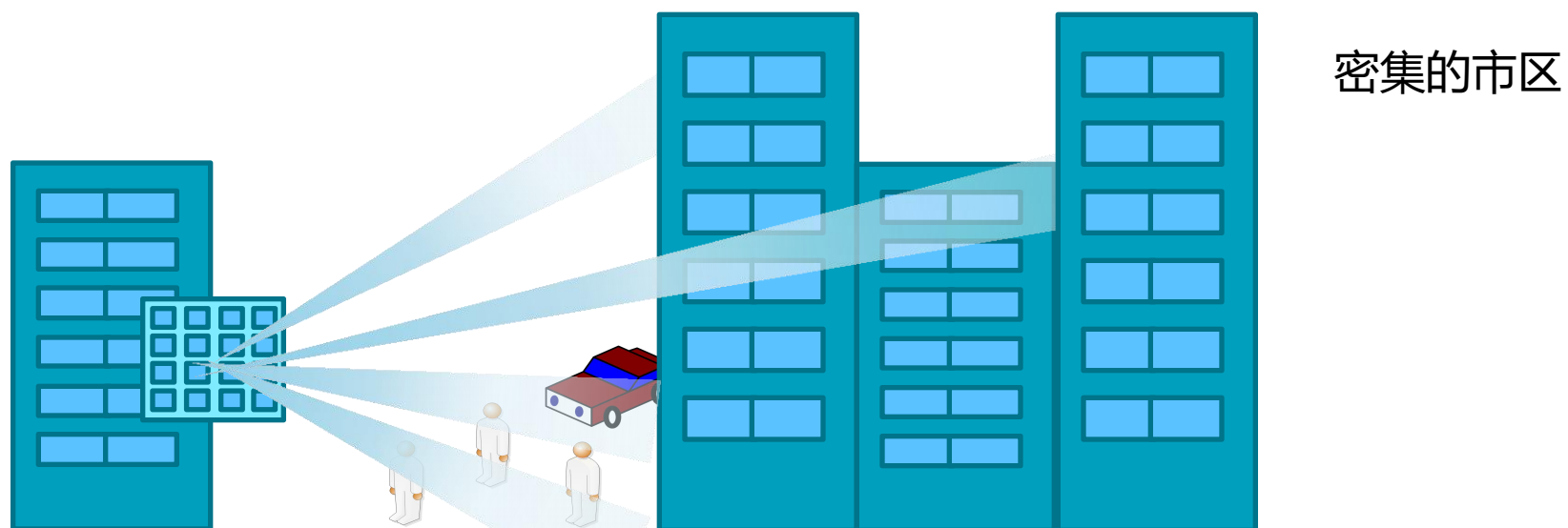


5G NR用于基站无线电

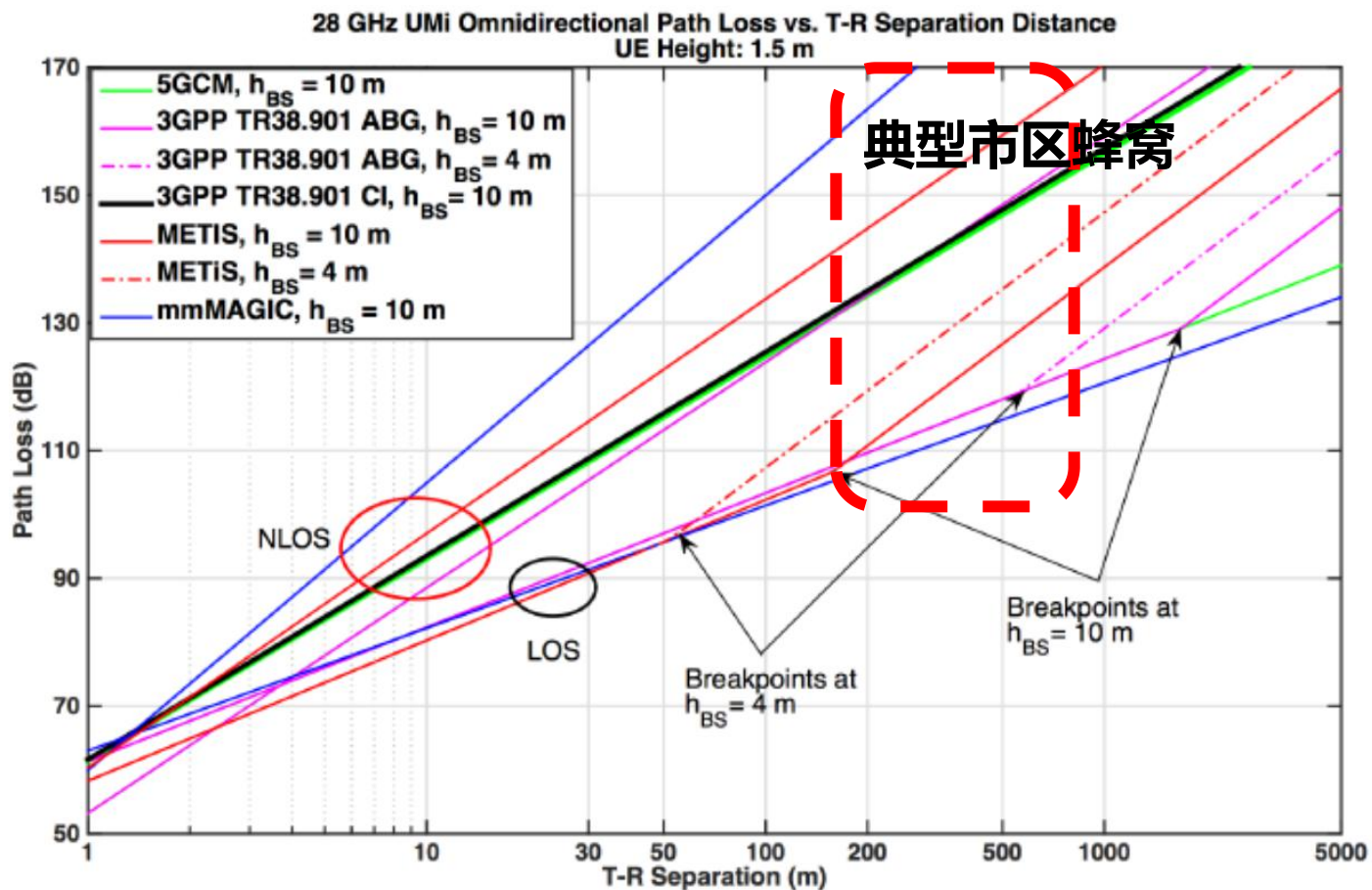
- ▶ 5G NR无线电预计最初将部署在新频谱中
 - 6GHz以下：5 MHz至100 MHz的载波带宽
 - 6GHz以上：40 MHz至400MHz的载波带宽
- ▶ NR波形与LTE (CP-OFDM)非常相似
 - ▶ 灵活参数集(numerology)
- ▶ 波束成型在2GHz以上将普遍存在



5G毫米波部署方案



路径损耗



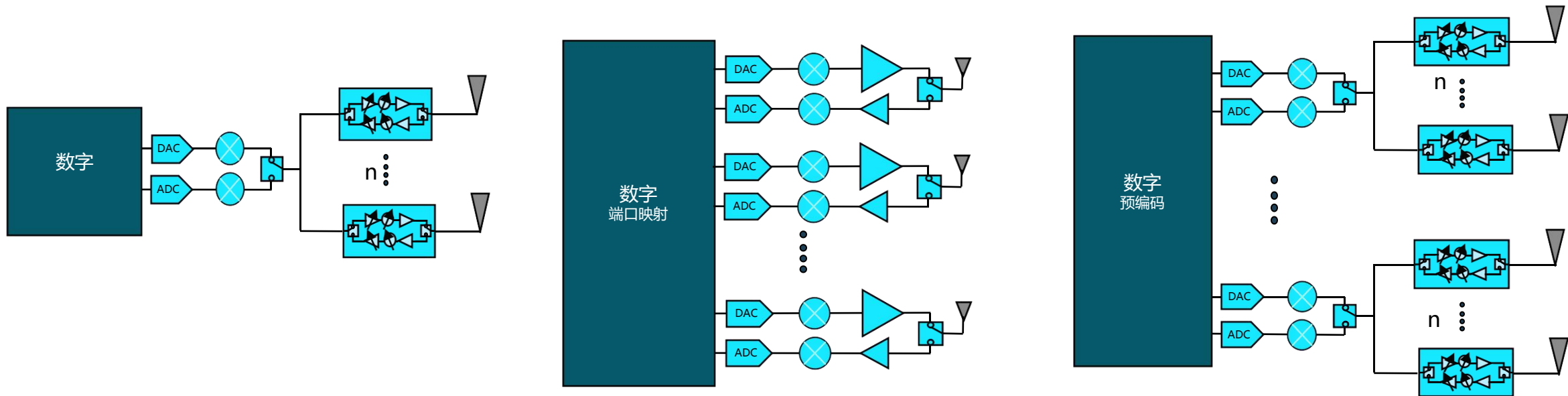
参考资料: T.S.Rappaport等人, “第五代(5G)无线网络毫米波通信概述 - 重点关注传播模型”, IEEE天线与传播论文集, 5G特刊, 2017年11月

链路预算示例

假设条件	BTS	CPE
每PA功率	9dBm	1 dBm
PA数量	256	64
天线数量	256	64
每元件增益	5dB	5dB
前端损耗	2dB	2dB

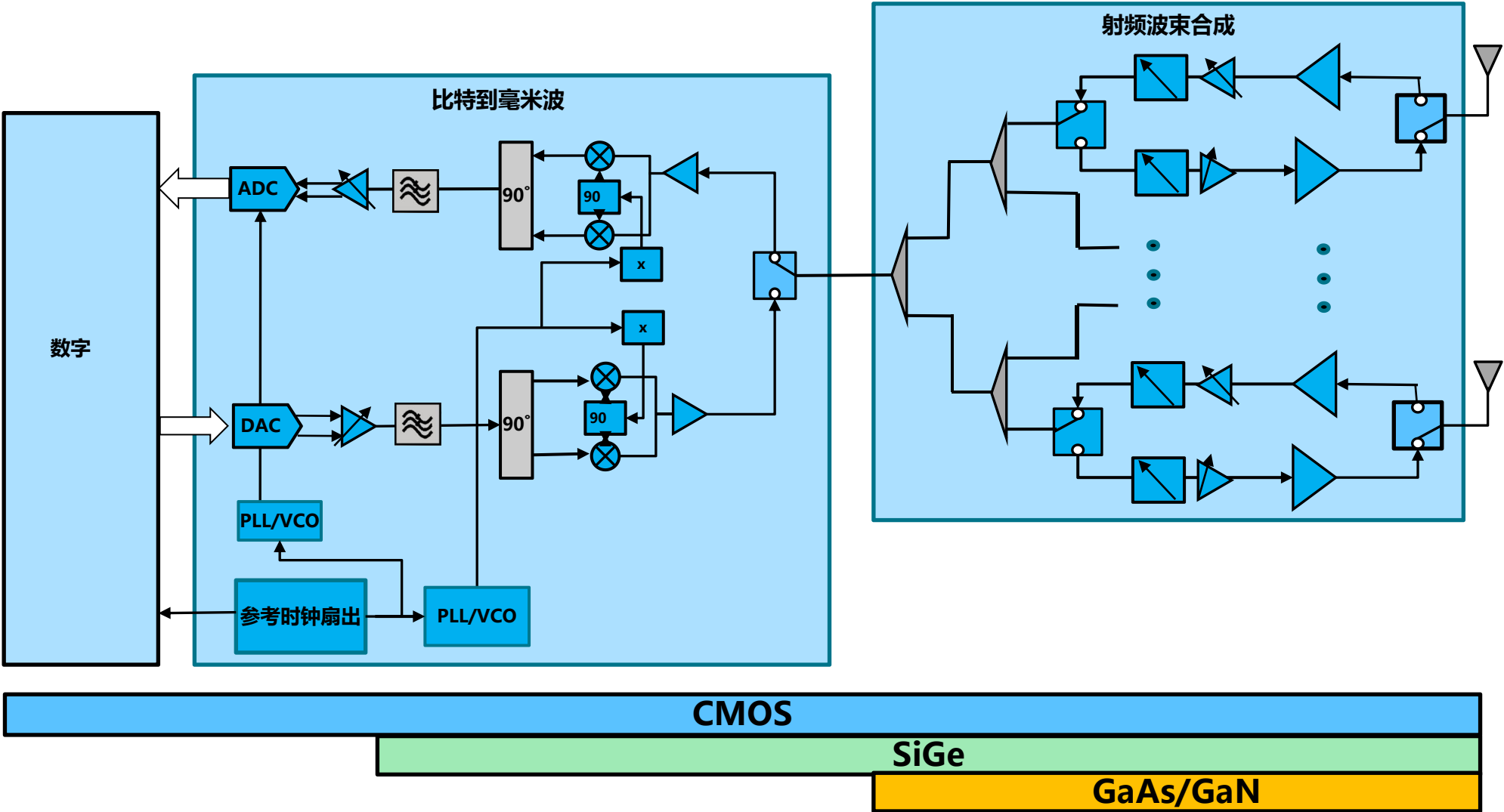
28GHz下200米链路的链路预算	下行链路（接入点）	上行链路（CPE）
总传导PA功率	+33dBm	+19 dBm
天线增益	27 dB	21
TX EIRP	60 dBm	40dBm
路径损耗	135dB	135 dB
接收功率	-75dBm	-95 dBm
热本底噪声	-85 dBm	-85dBm
RX噪声系数	5dB	5dB
SNR/RX元件	5dB	-15dB
RX天线增益	21dB	27dB
波束成型后的RX SNR	+26dB	+12dB

波束成型架构



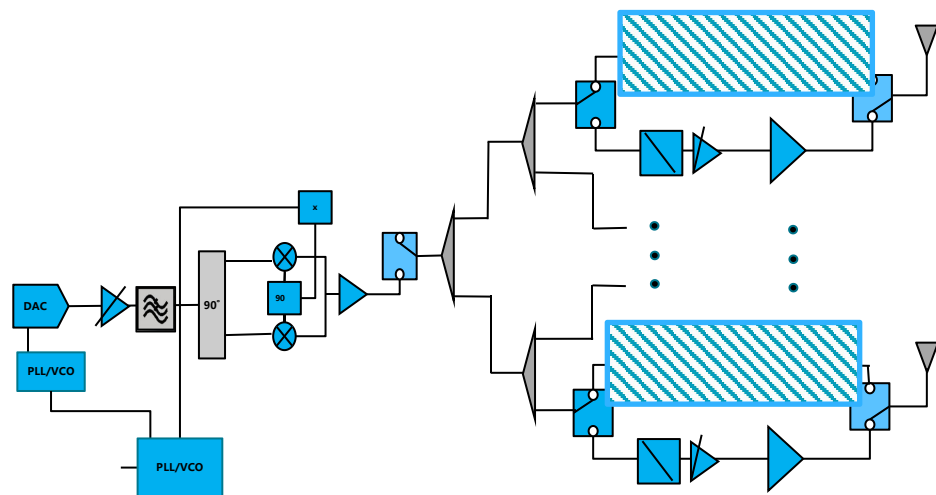
模拟波束成型	数字波束成型	混合波束成型
加权射频路径的波束成型	加权数字路径的波束成型	波束成型 - 模拟和数字的组合
低功率/复杂性	最高功率/复杂性	中等功率/复杂性
有利于覆盖	最高容量/灵活性	模拟和数字的折衷
单波束 - 单数据流	频率选择性波束成型	现有技术的最佳选择

模拟波束合成



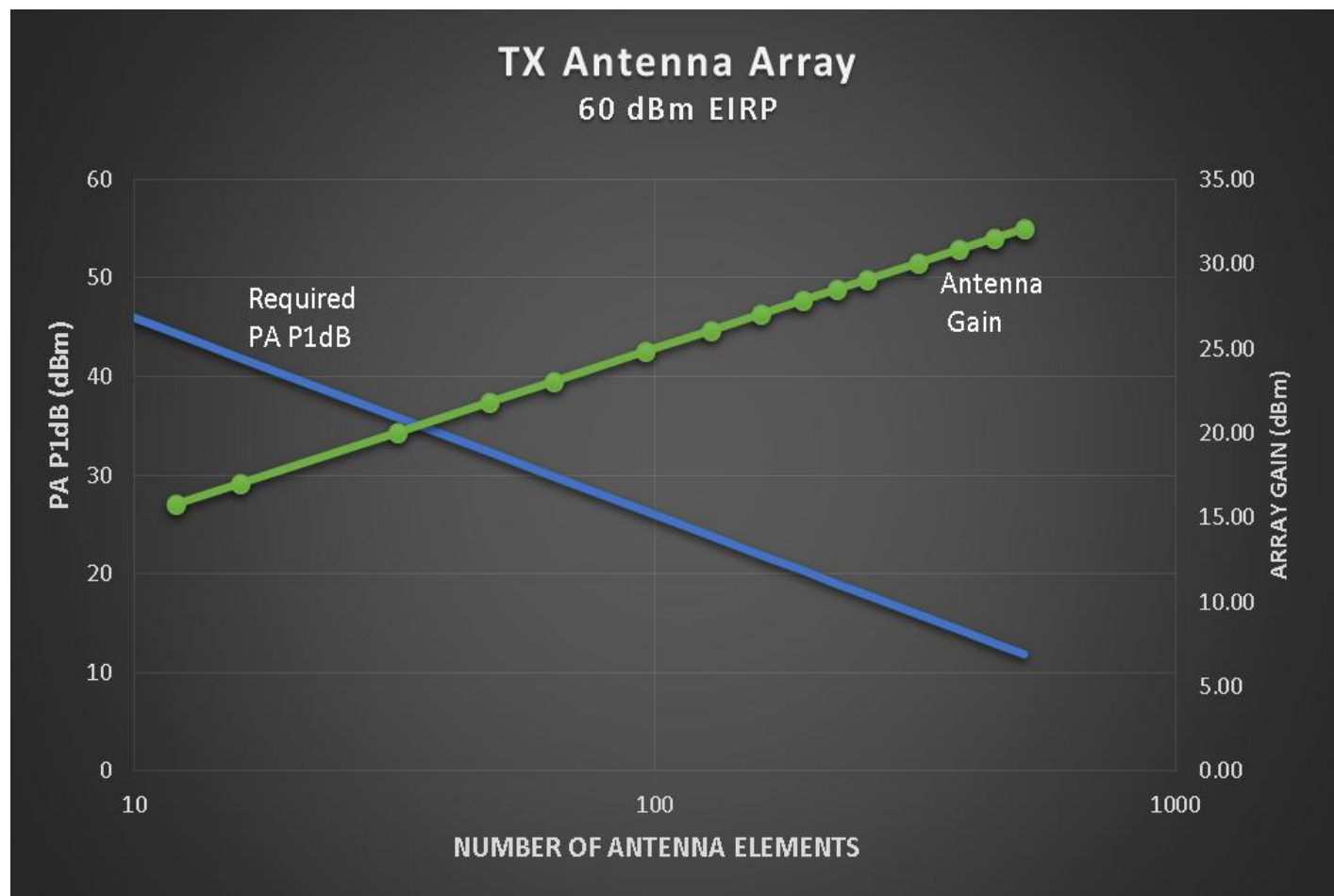
模拟波束合成

固定EIRP时TX阵列增益和PA输出功率与阵列大小的关系



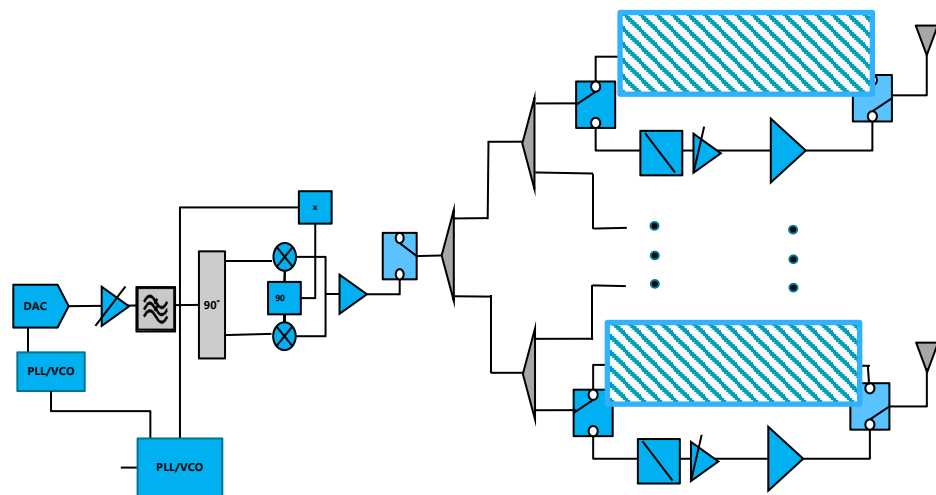
假设条件:

- 每个波束60dBm EIRP
- 800MHz带宽
- PAPR = 9 dB
- 2dB开关损耗



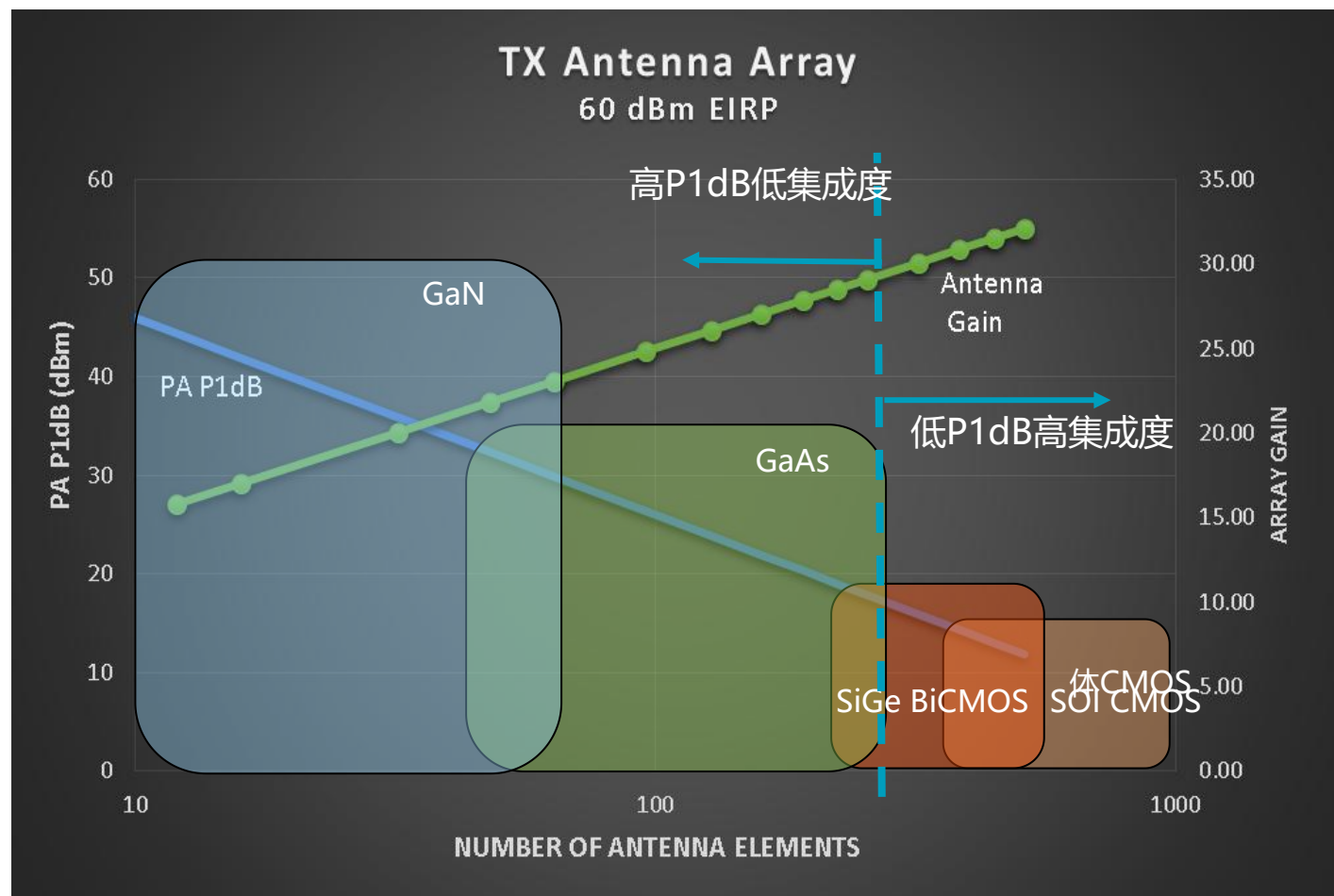
模拟波束合成

固定EIRP时TX阵列增益和PA输出功率与阵列大小的关系



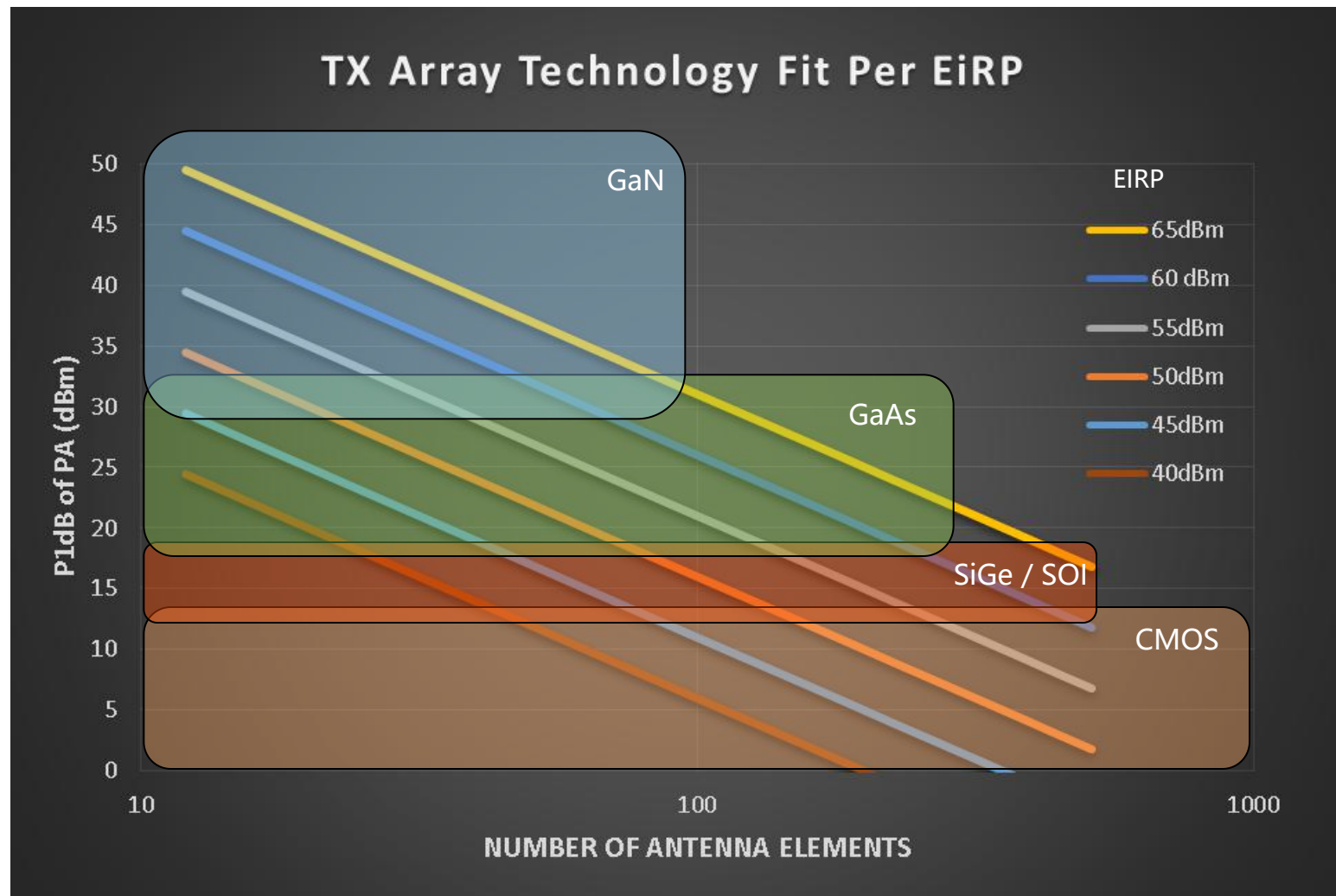
假设条件:

- 每个波束60dBm EIRP
- 800MHz带宽
- PAPR = 9 dB
- 2dB开关损耗



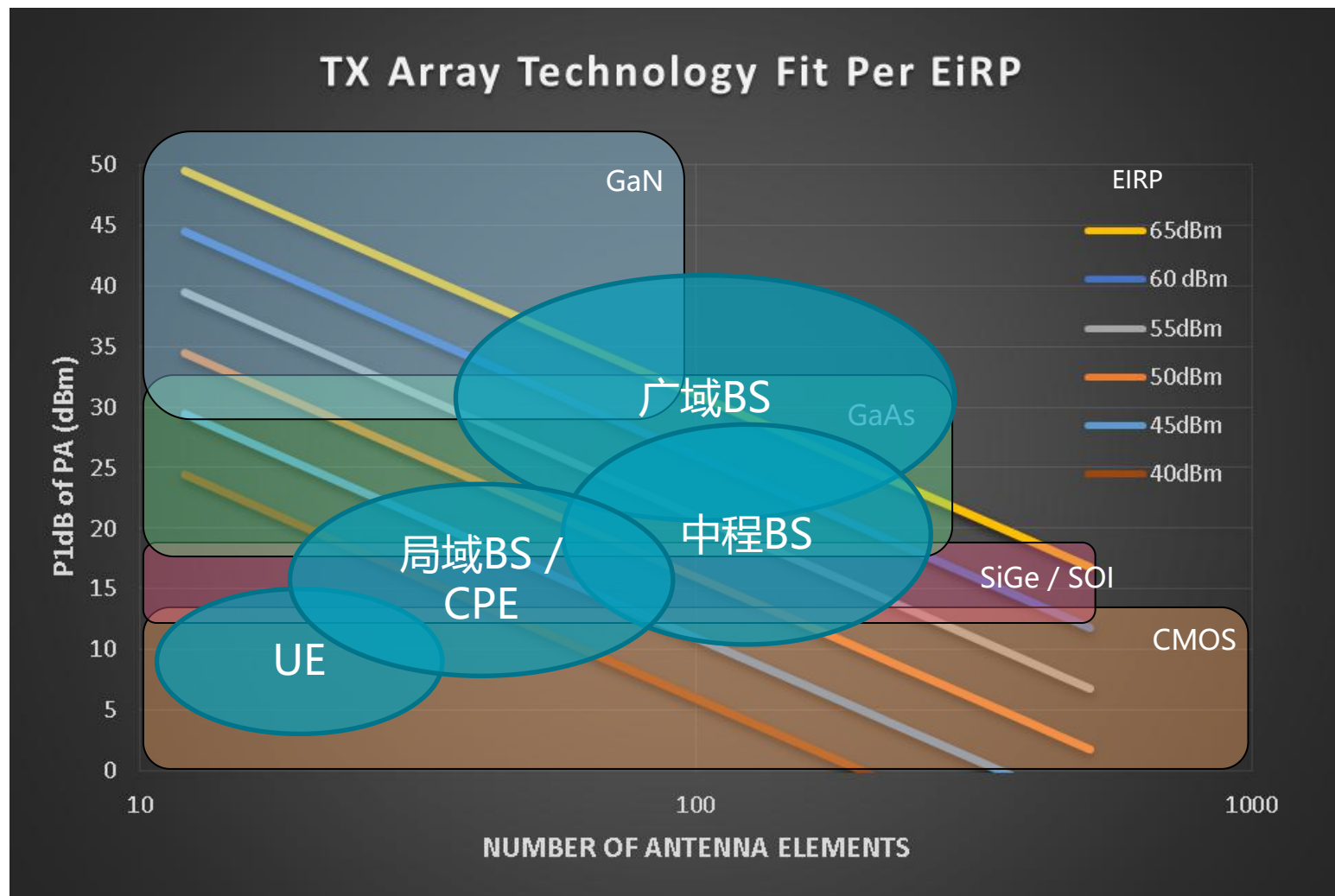
不同尺寸无线电最合适的技术

- 较高的EIRP将PA技术推向III-V
- 较低的EIRP允许使用高集成度硅基解决方案
- 较大的阵列允许使用硅片PA
- 较大的阵列会增加复杂性和成本

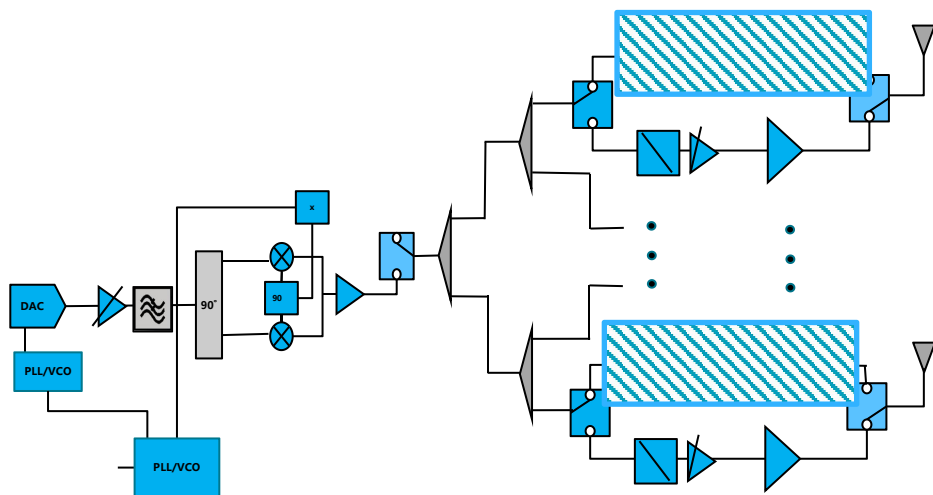


不同尺寸无线电最合适的技术

- UE明显处于CMOS技术领域
- CPE横跨CMOS和SiGe BiCMOS
- 低功耗接入点横跨CMOS、SiGe BiCMOS和GaAs
- 高功率基站横跨GaAs和GaN

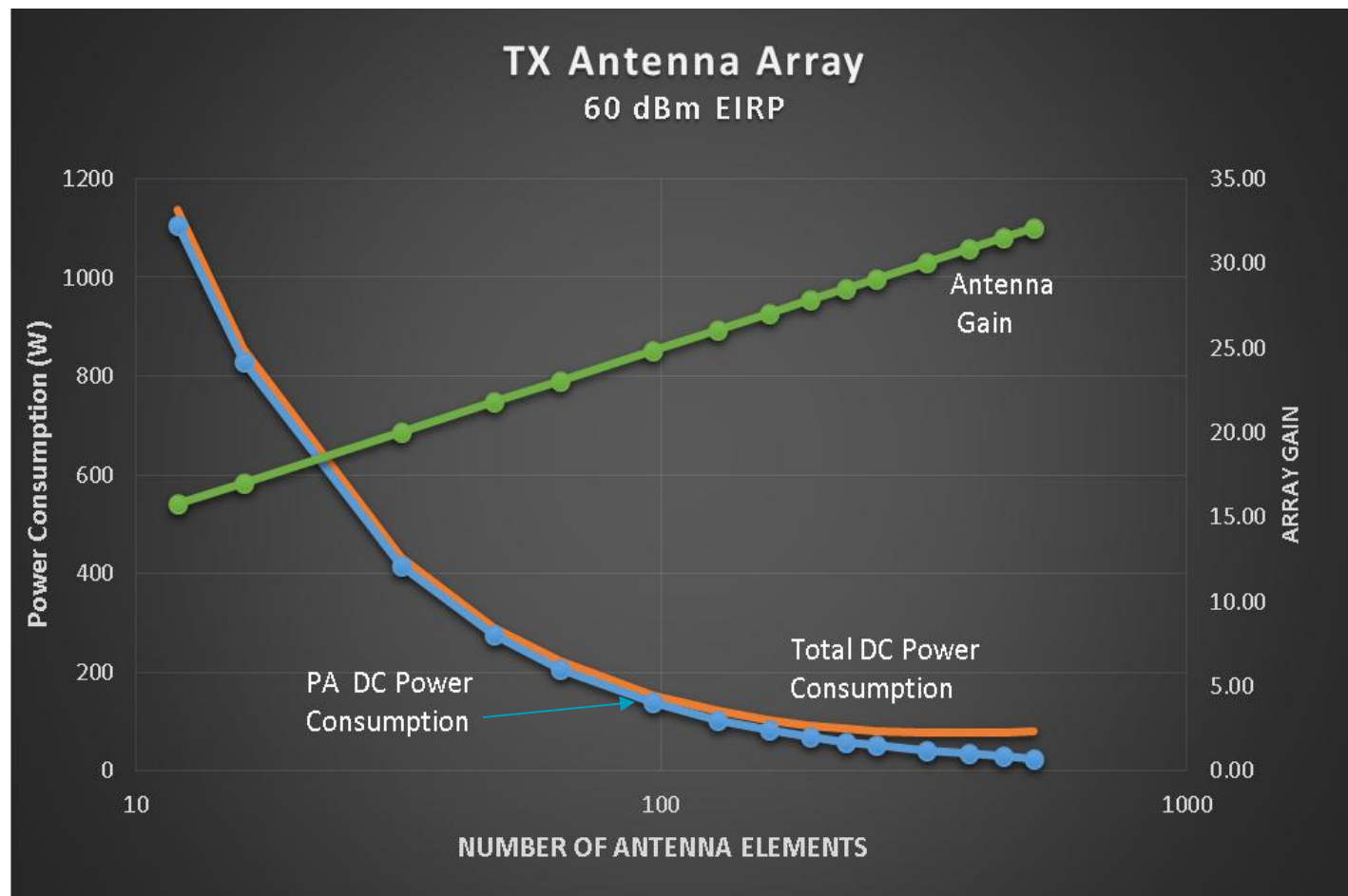


模拟波束合成功耗



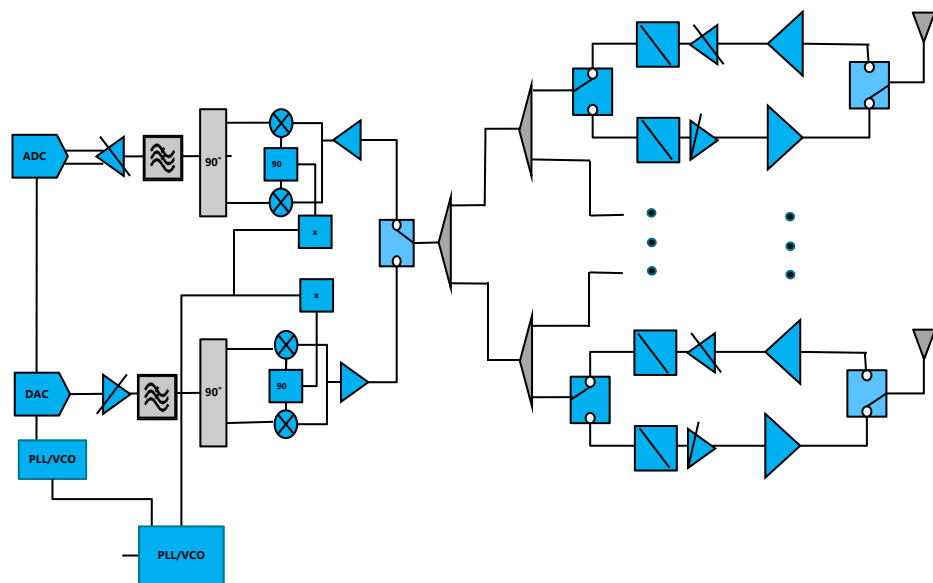
假设条件：

- 每个波束60dBm EIRP
- PAPR = 9 dB
- 2dB开关损耗
- PA峰值PAE - 30%
- 核心PAE - 13%

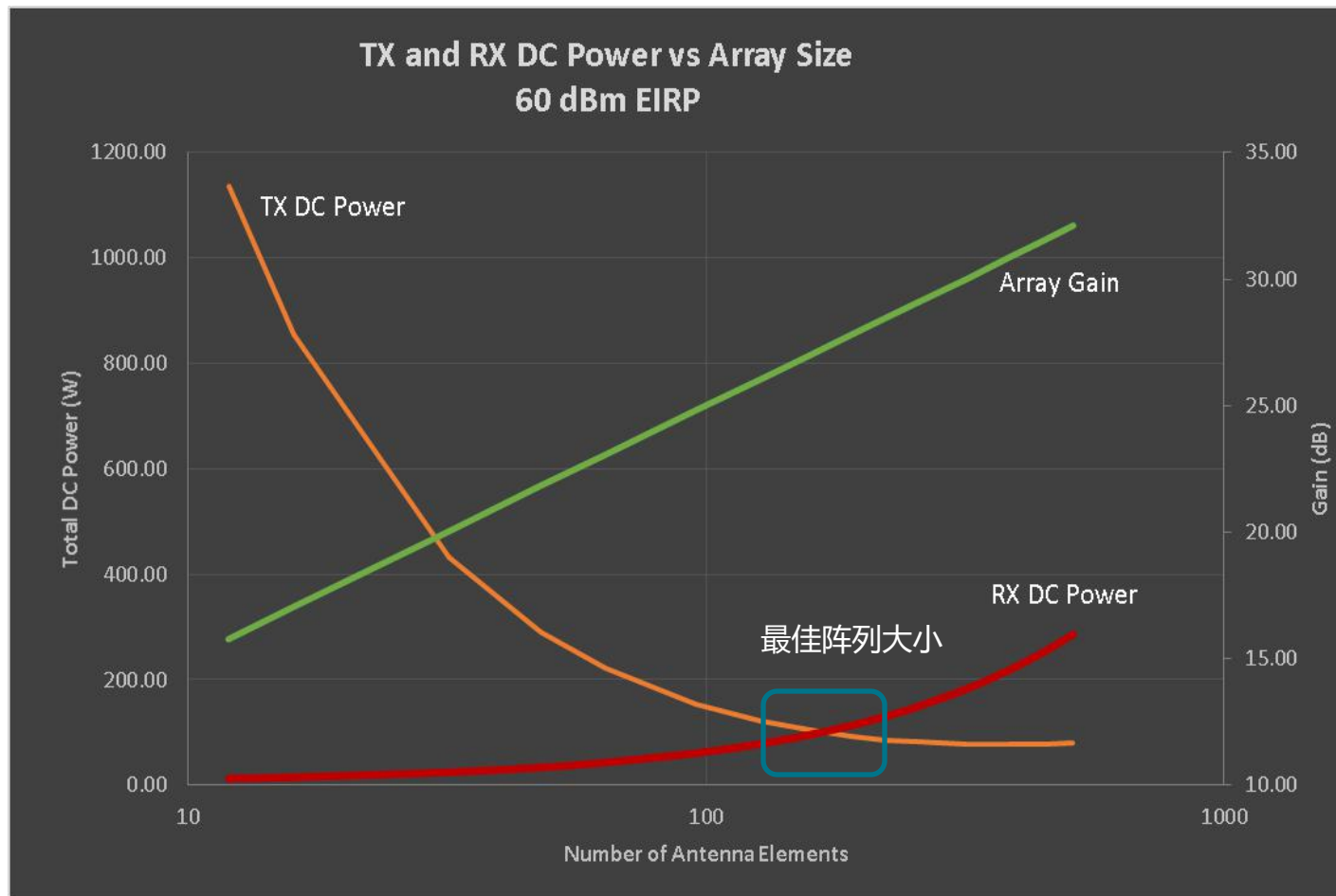


模拟波束合成功耗

固定EIRP时TX和RX DC功耗与阵列大小的关系



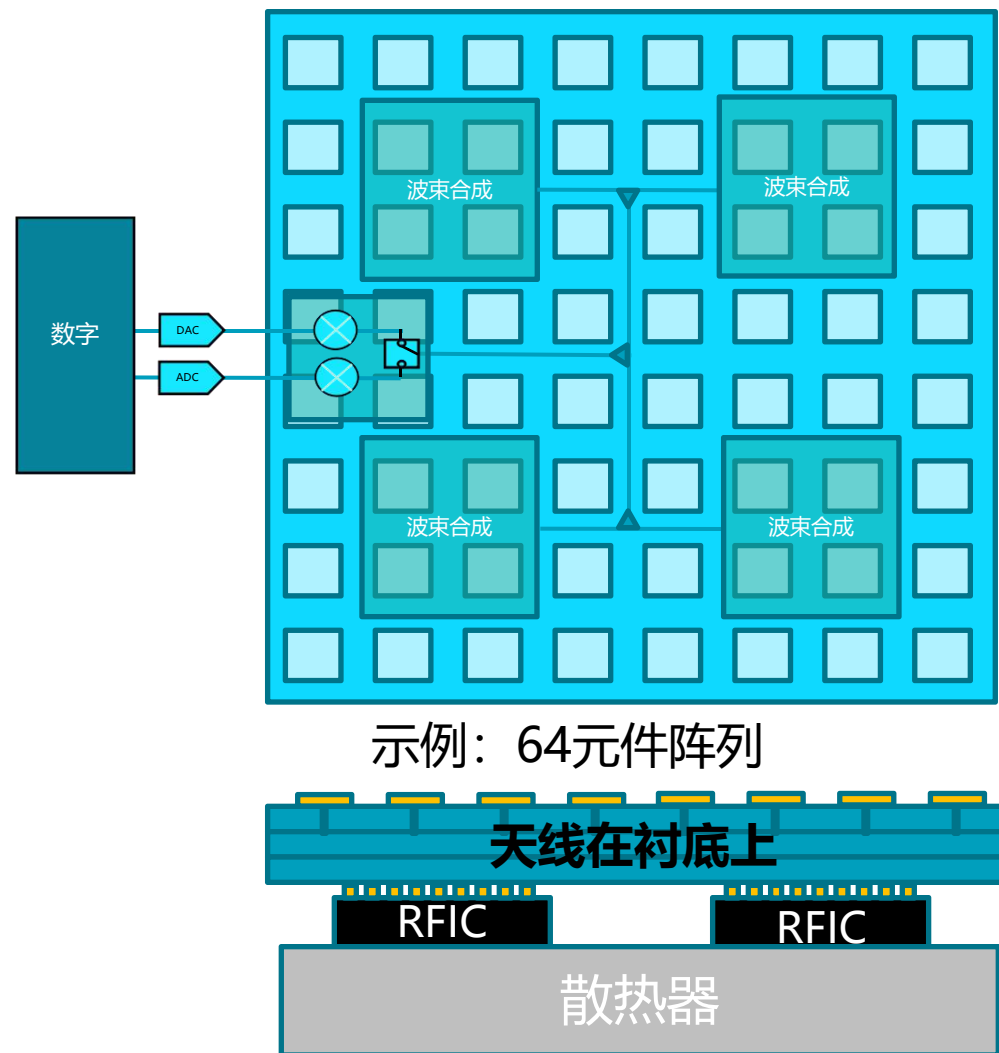
- 叠加TX和RX功耗
- 最佳阵列大小为128到256个元件
- TX功耗约为80 - 100W



高集成度波束合成组件

天线在衬底上

- 紧凑的实施方案
- 支持垂直和水平方向的宽范围波束成型
- 可扩展以获得更高的EIRP
- 热挑战
- 很难实现前端滤波器



帶TR模块的集成波束合成



半集成模拟波束合成

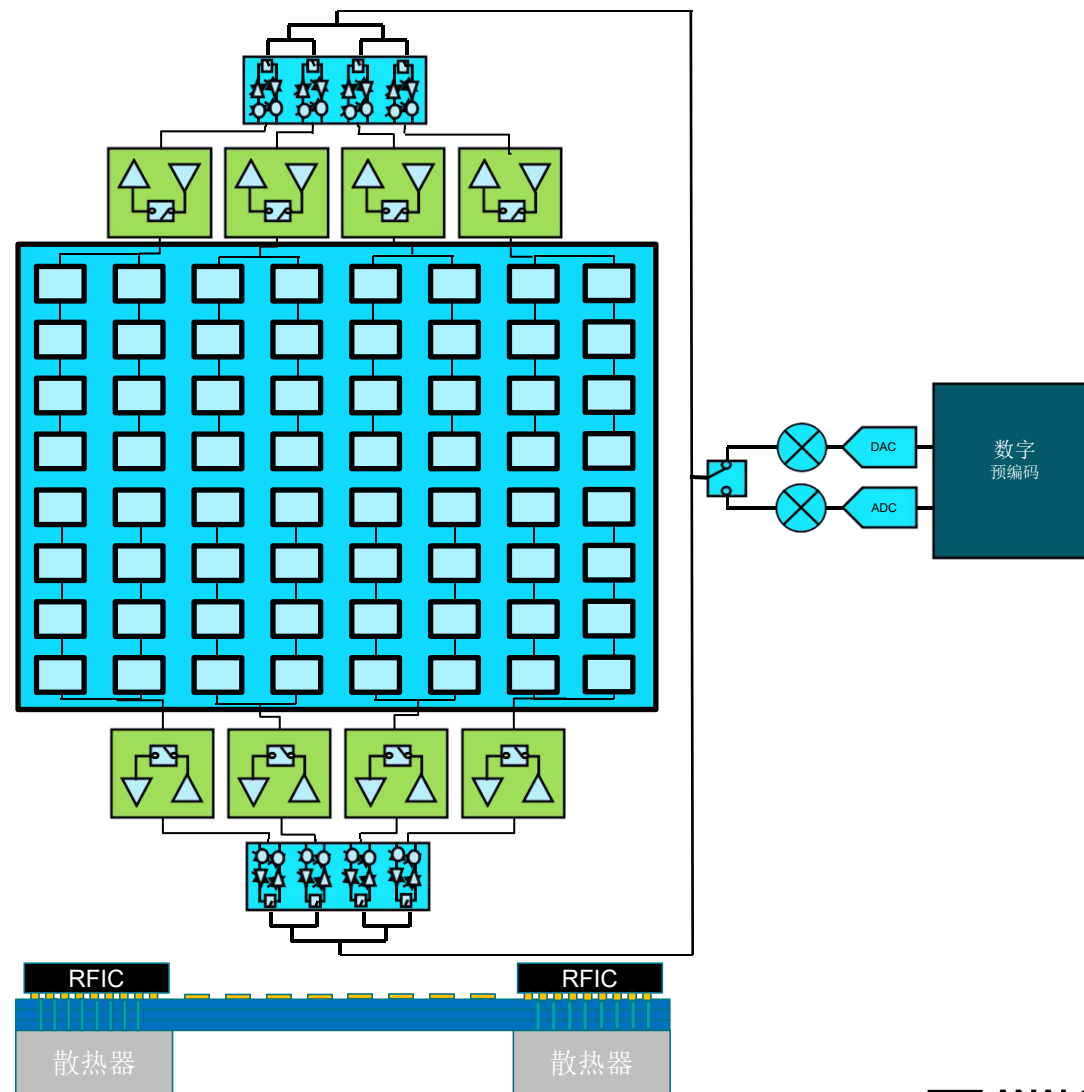
- 选择用每个PA驱动一个子阵列以利用阵列增益

优点:

- PA和波束合成IC减少8倍
- 平面实施方案
- 可印刷前端滤波器
- 常规热管理
- 可扩展以获得高EIRP

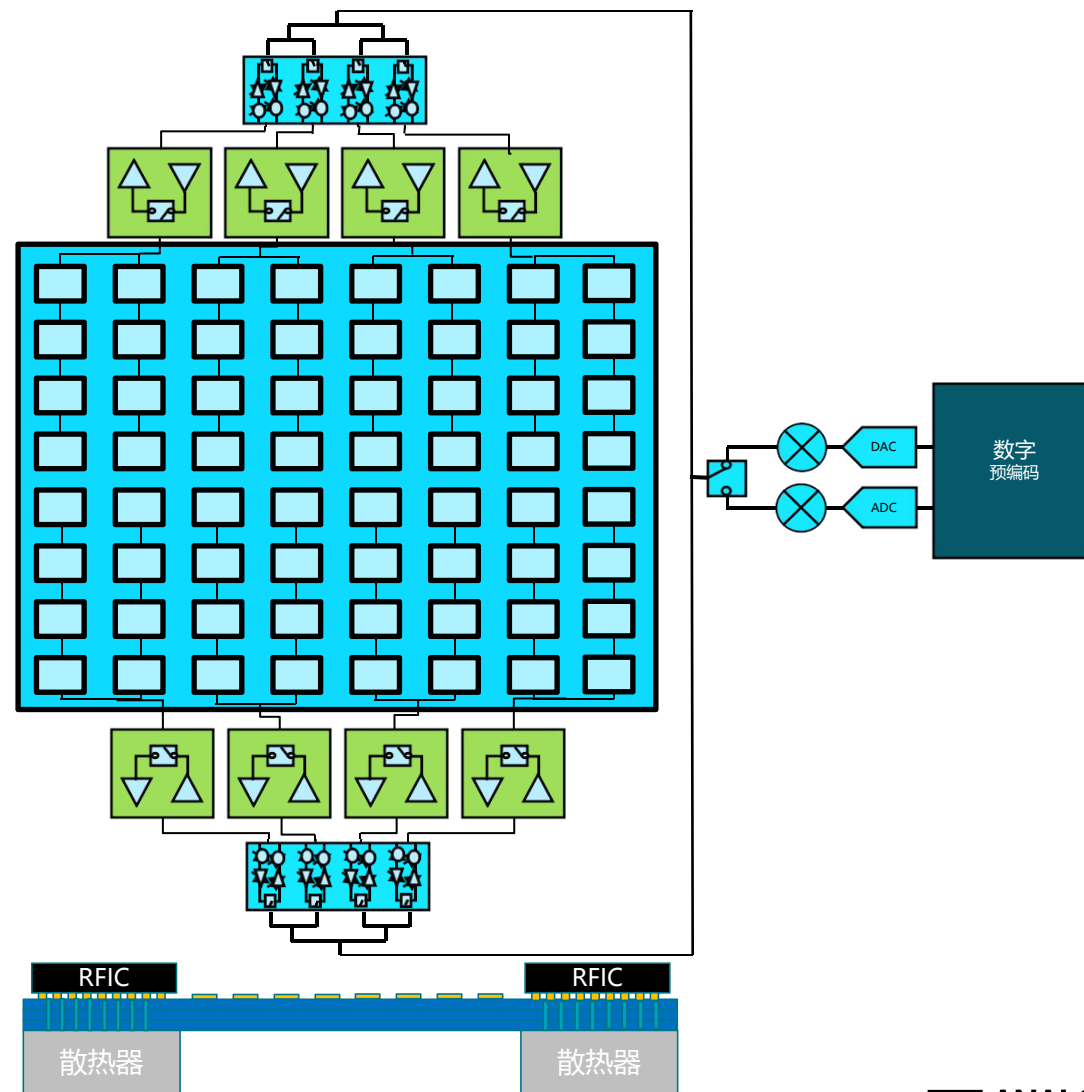
缺点:

- 扫描能力减弱



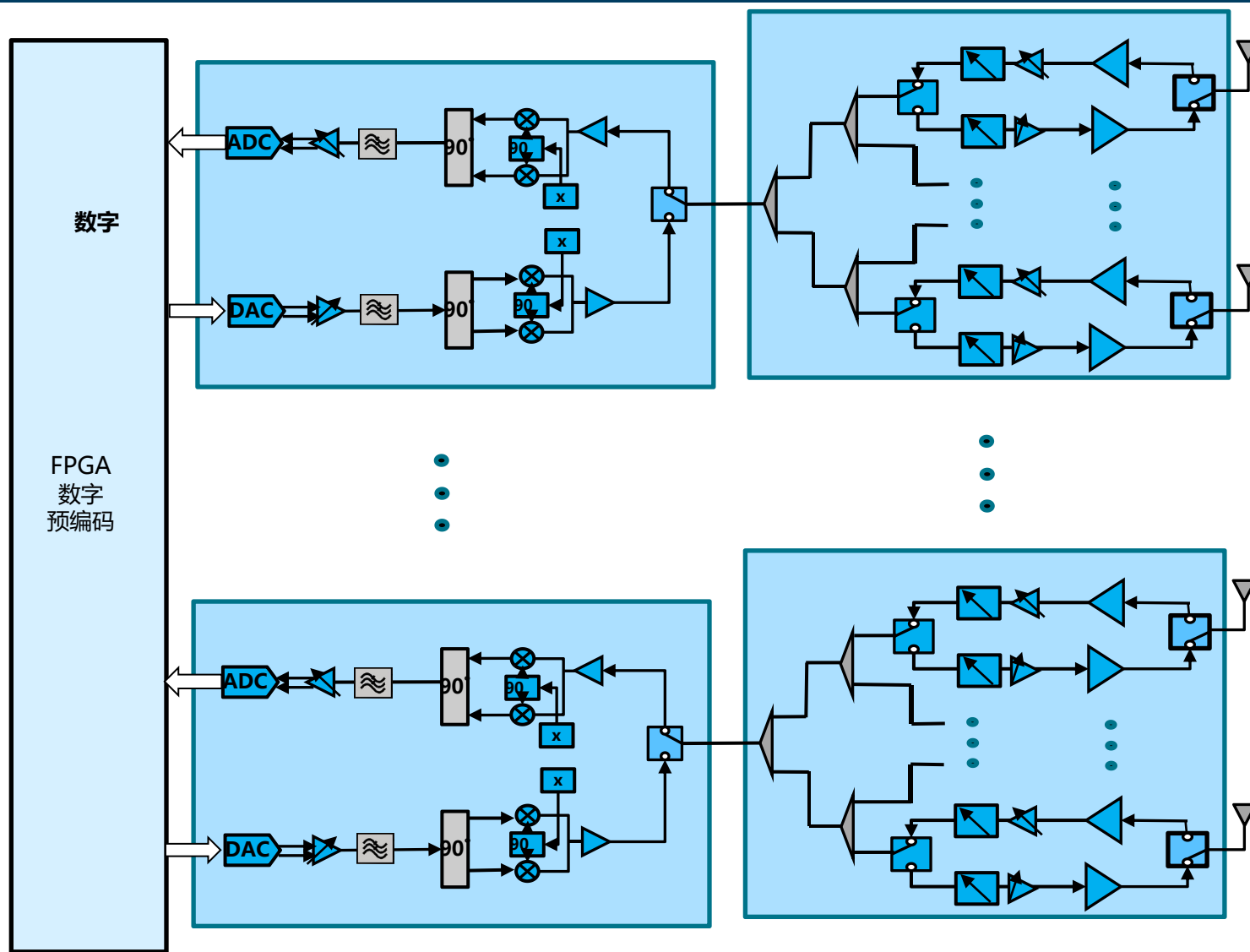
半集成模拟波束合成

- 对于EIRP = 60 dBm, 对单个波束使用128个元件可实现最佳DC功耗
- PA输出功率为24dBm (适合于GaAs或GaN)



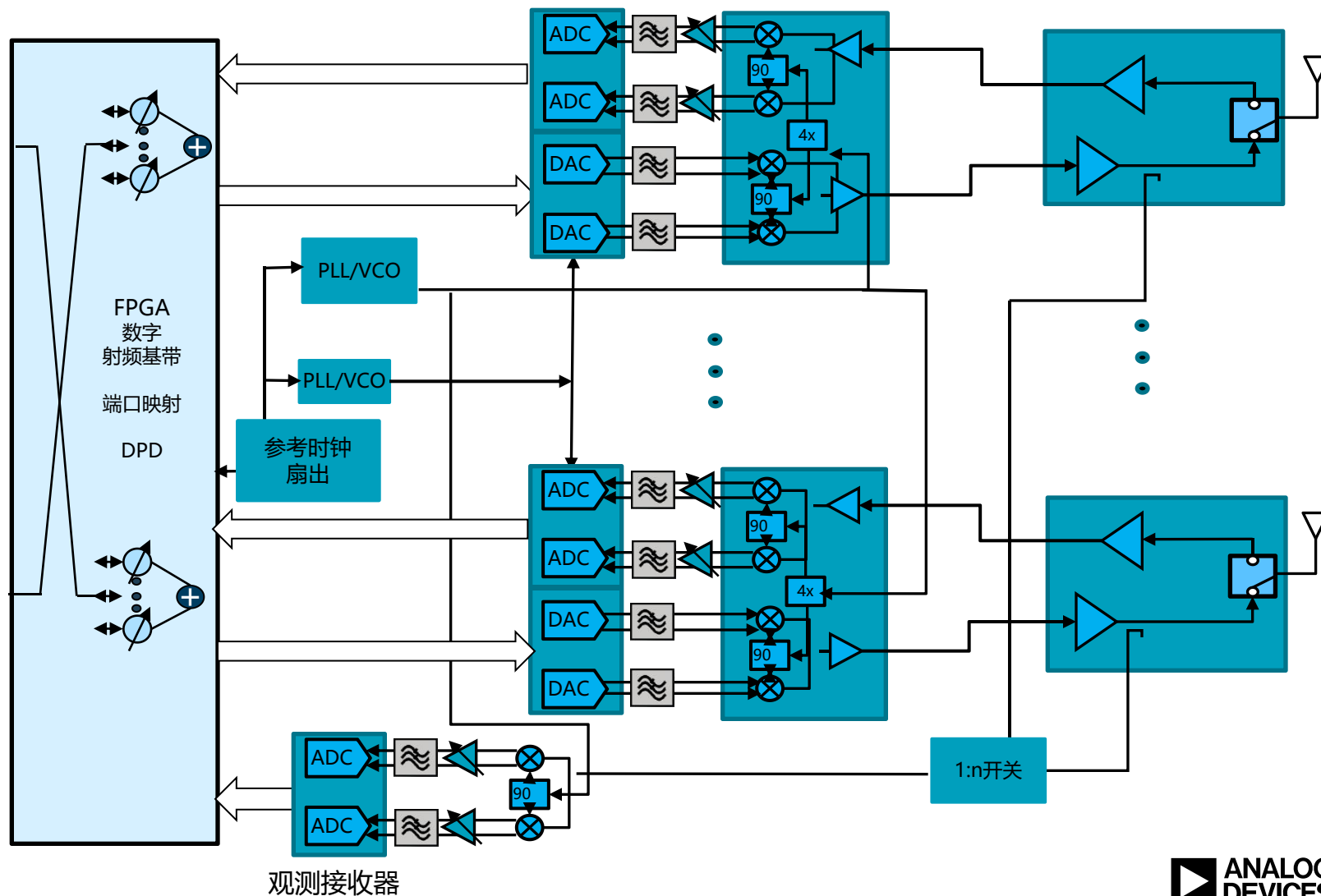
混合波束合成

- 数字和模拟波束成型相结合以实现空间复用
- 如果 $m = 8$ 且 $n = 128$ ，则总阵列大小为1024
- 虽然可扩展，但功耗增加迅速



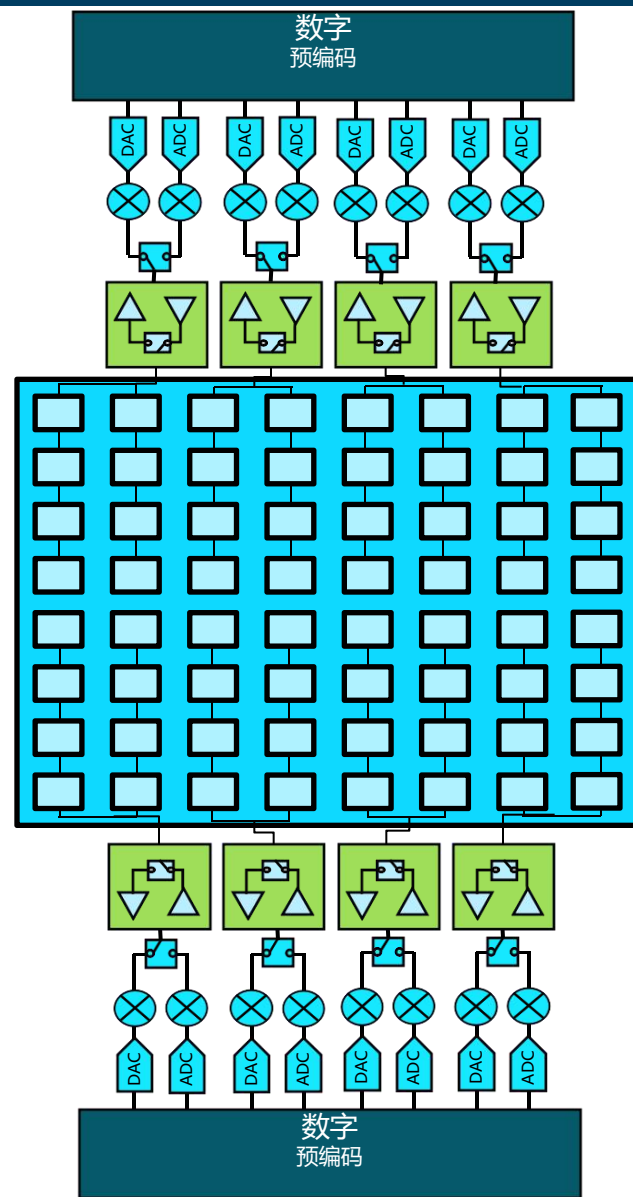
数字波束成型

- 相移以数字方式执行
- 迈向毫米波频率的大规模MIMO的第一步
- 通过DPD支持实现更高TX效率

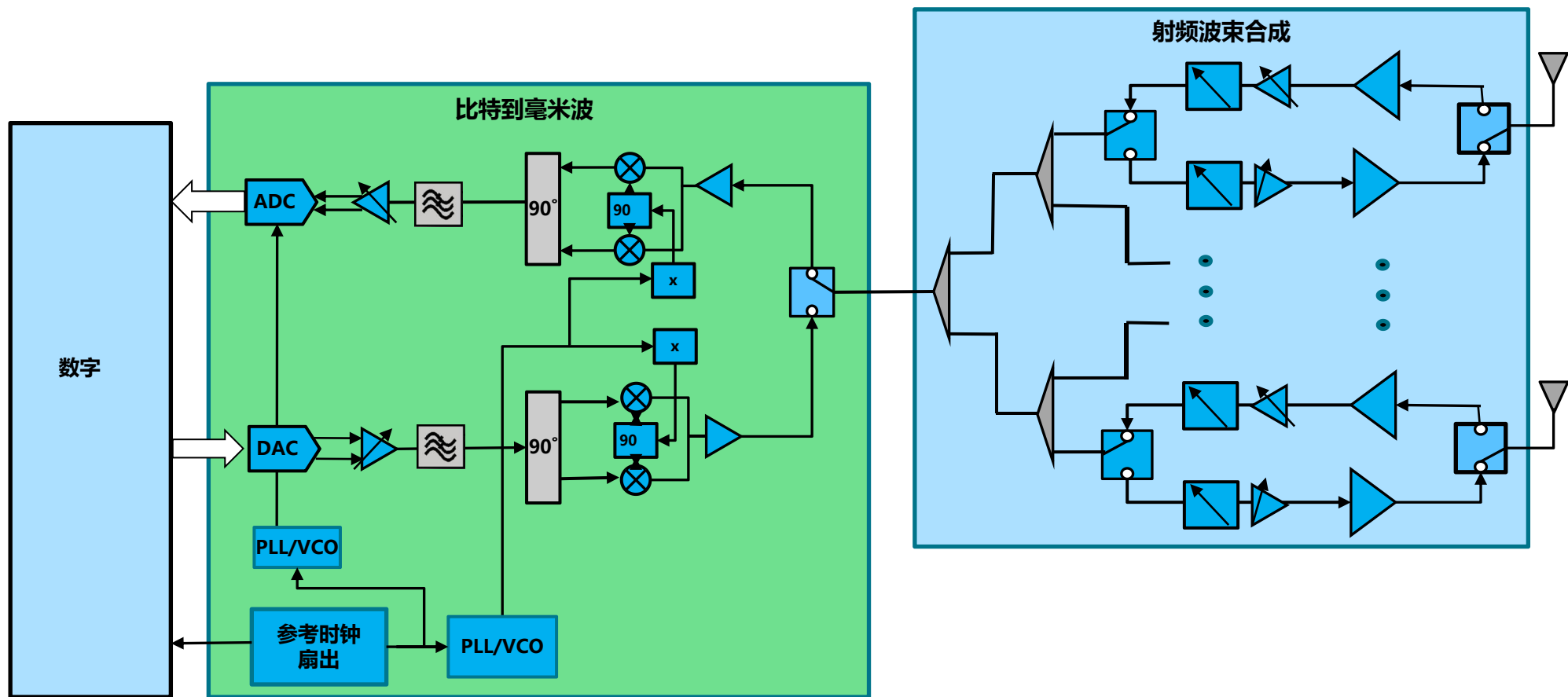


数字波束成型

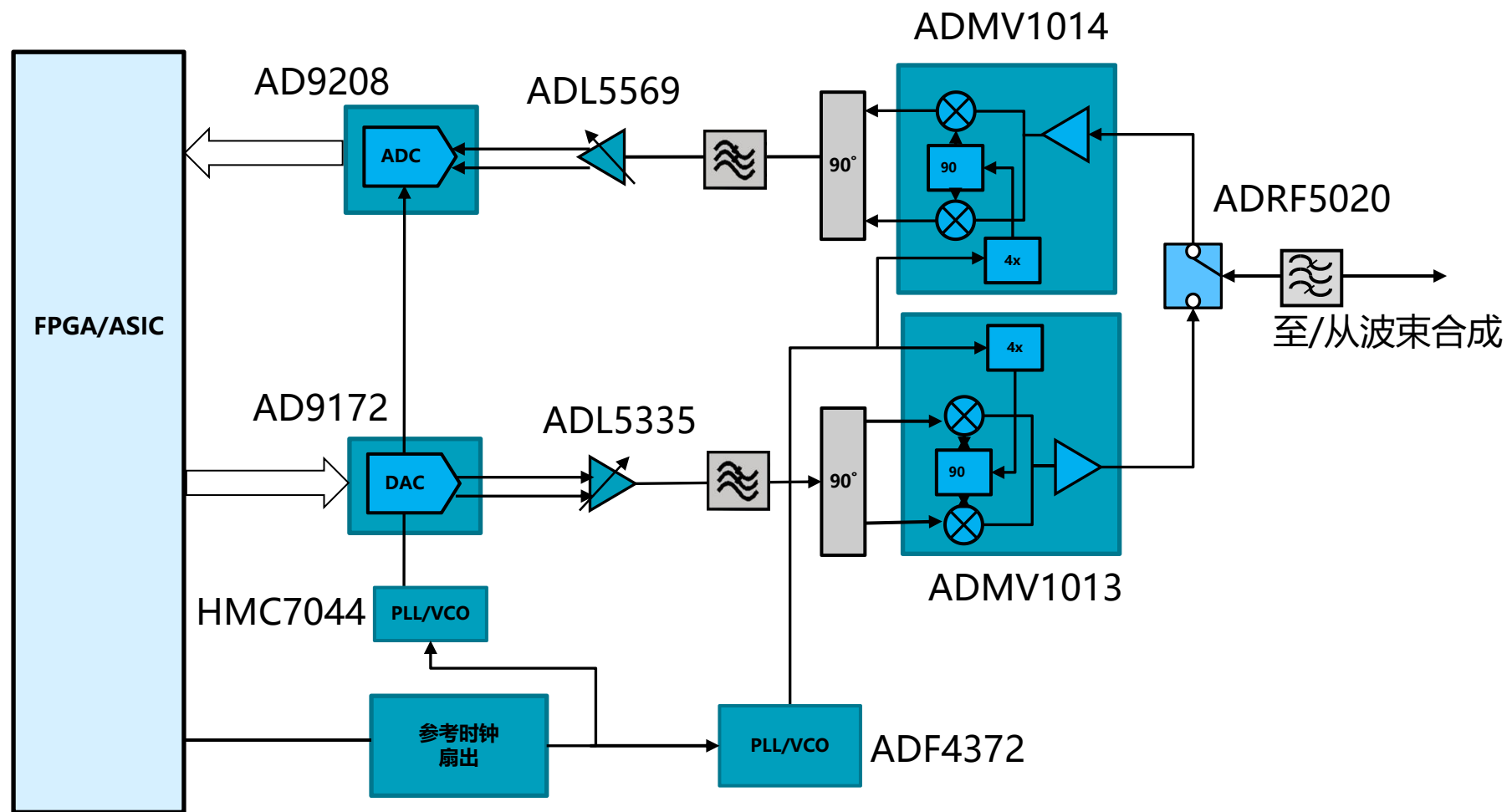
- 类似于半集成模拟方法的实施方案
- 这是波束成型 - 不是大规模MIMO
- 简单地将移相器从射频移动到数字域



比特到毫米波无线电



比特到毫米波无线电 - 示例



参考资料：5G毫米波基站，

<http://www.analog.com/en/education/education-library/videos/5804450511001.html>

- 5G毫米波用例出现
 - 近期固定接入 -> 半移动的接入-> 未来移动接入
- 各种波束成型方法
 - 模拟波束成型
 - 使用现有技术的最有效实施方案
 - 未来的数字波束成型
- 比特到毫米波无线电
 - 需要前沿技术 - 现已面市!

谢谢观看！

- ▶ ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006
- ▶ ADI中国地区技术支持信箱：
china.support@analog.com
- ▶ ADI样片申请网址：
<http://www.analog.com/cn/sample>