

# 5G NTN与“手机直连卫星”快速原型



# 5G非地面网络(5G NTN)

- 5G非地面网络(Non-Terrestrial Network, NTN)是一项旨在使5G用户终端(5G UE)连接到位于卫星上的非地面基站(5G gNB)的技术
- NTN是3GPP R17版本的重要功能, 在5G-Advanced中持续演进, 已成为3GPP Release 18工作计划中的重要组成部分。NTN包括IoT-NTN和NR-NTN
- 5G NTN的关键技术挑战是使5G NR gNB和UE适应于低轨卫星系统, 而这些NTN功能仍然遵循3GPP的标准。具体来说, 需要考虑在gNB和UE的不同协议层, 如何适应卫星信道以及补偿低轨卫星高速运动带来的多普勒频移等

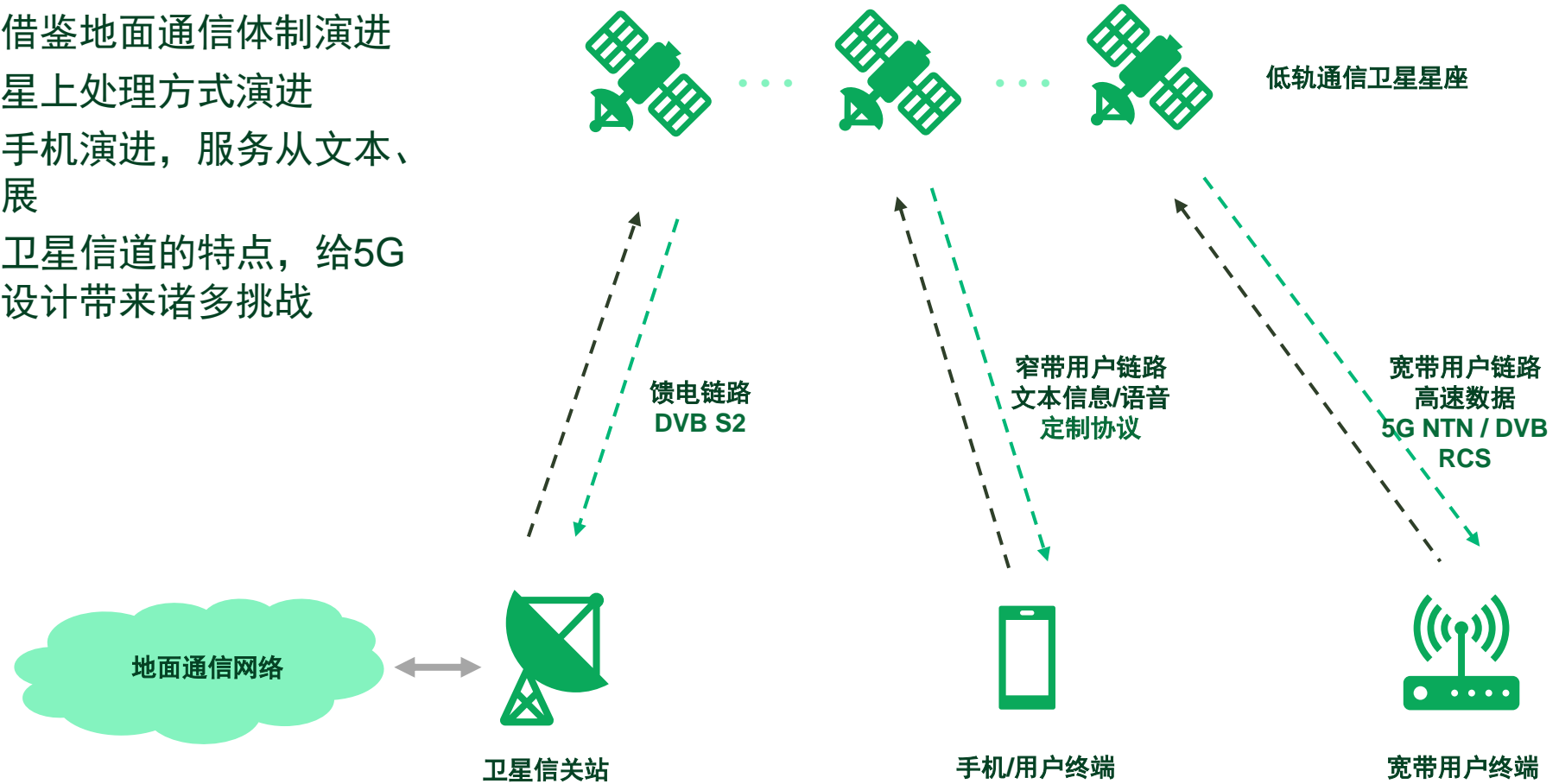
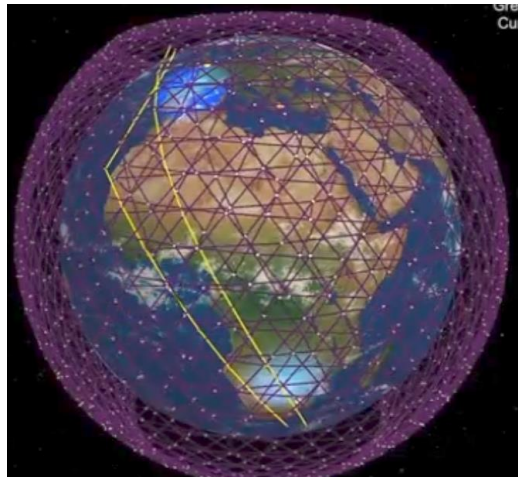
# 手机直连卫星

- “手机直连卫星”在地面蜂窝网络覆盖不佳的偏远地区、海上、空中提供通信服务，或在地面通信设施被破坏时，提供应急通信
- 当前手机厂商发布的“手机直连卫星”技术实现的是窄带的文本信息服务，后续会向语音服务演进
- 2022年SpaceX和T-Mobile宣布了合作计划，将实现手机与卫星之间的文本或语音传输。
- AST SpaceMobile的BlueWalker 3卫星天线面积为64平方米，最近宣布实现了语音通话功能



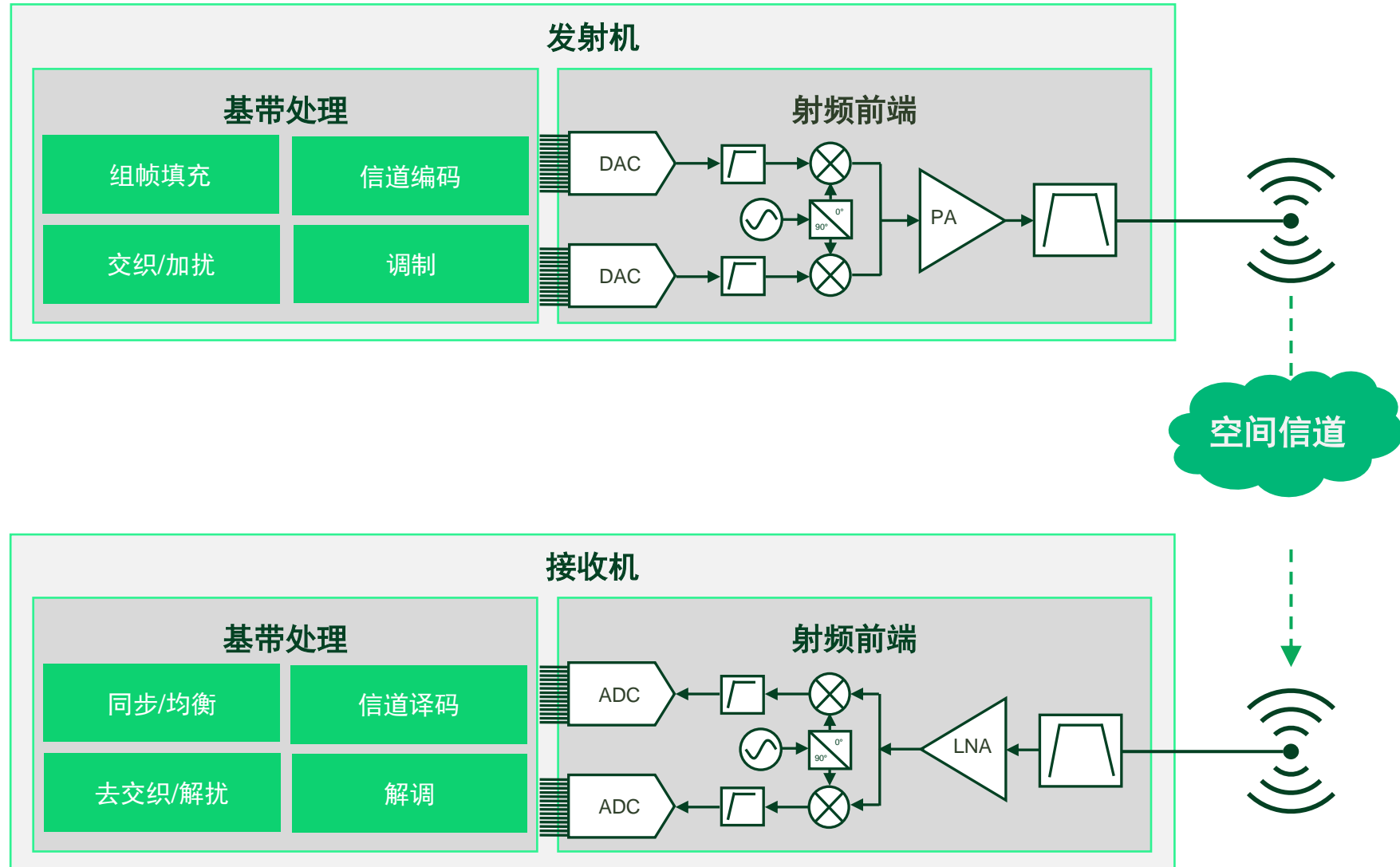
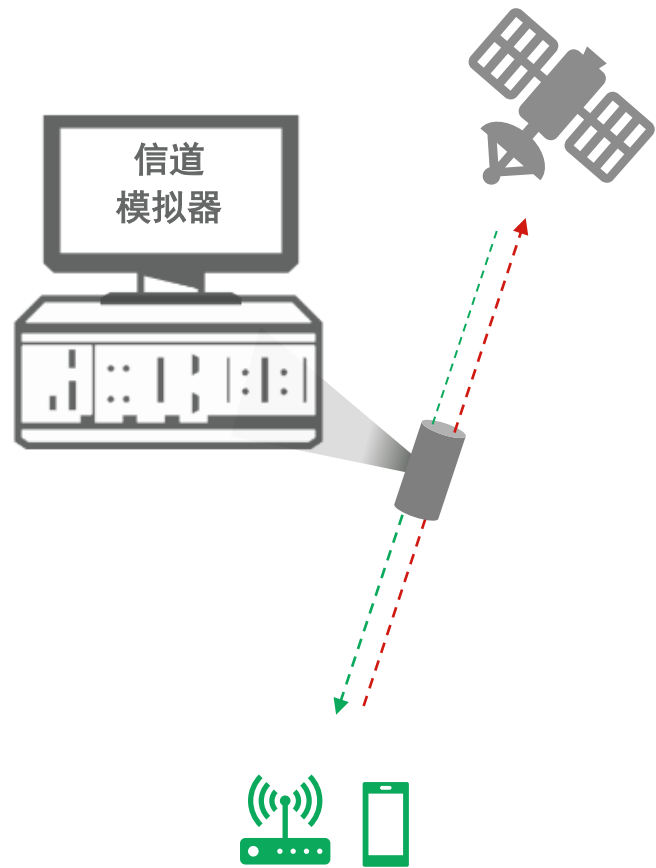
# 关键技术一：卫星与地面网络融合体制的技术演进

- 卫星通信从私有通信协议到借鉴地面通信体制演进
- 卫星通信从透明转发模式向星上处理方式演进
- 卫星终端从专用终端到连接手机演进，服务从文本、语音到高速数据服务逐步发展
- 低轨卫星的高速运动，以及卫星信道的特点，给5G与低轨卫星融合的通信体制设计带来诸多挑战



# 非地面通信的端到端通信链路

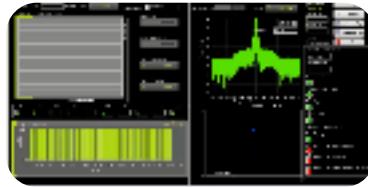
基于MATLAB与SDR硬件实现全链路的原型验证



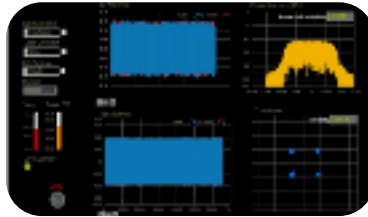


# 基于NI软件无线电的通信原型验证

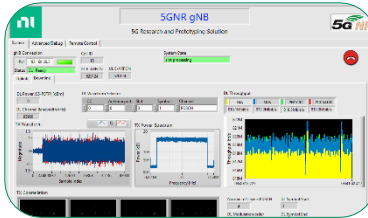
TT&C  
USB/DSSS



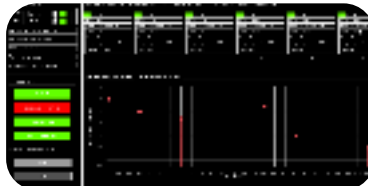
HDR/通信业务链路  
DVB S2/MF-TDMA



5G NR/5G NTN



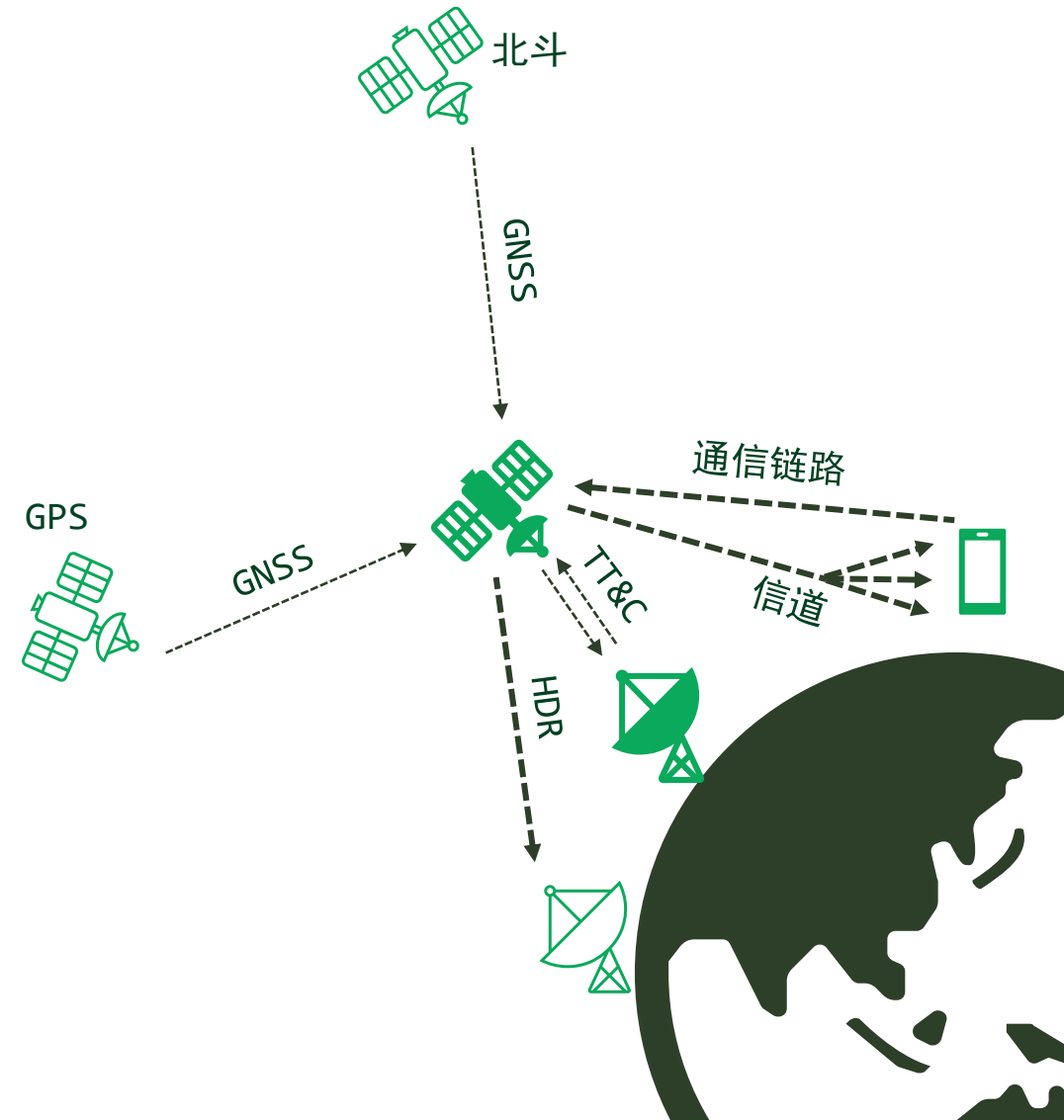
信道模拟



宽带RF录制回放



.....



# 应用案例：DVB端端到端半实物通信原型(USRP)

将软件波形快速以空口射频形式传输



# DVB-S宽带卫星通信系统

大带宽高速率实时信号处理(调制解调, 编码译码等)

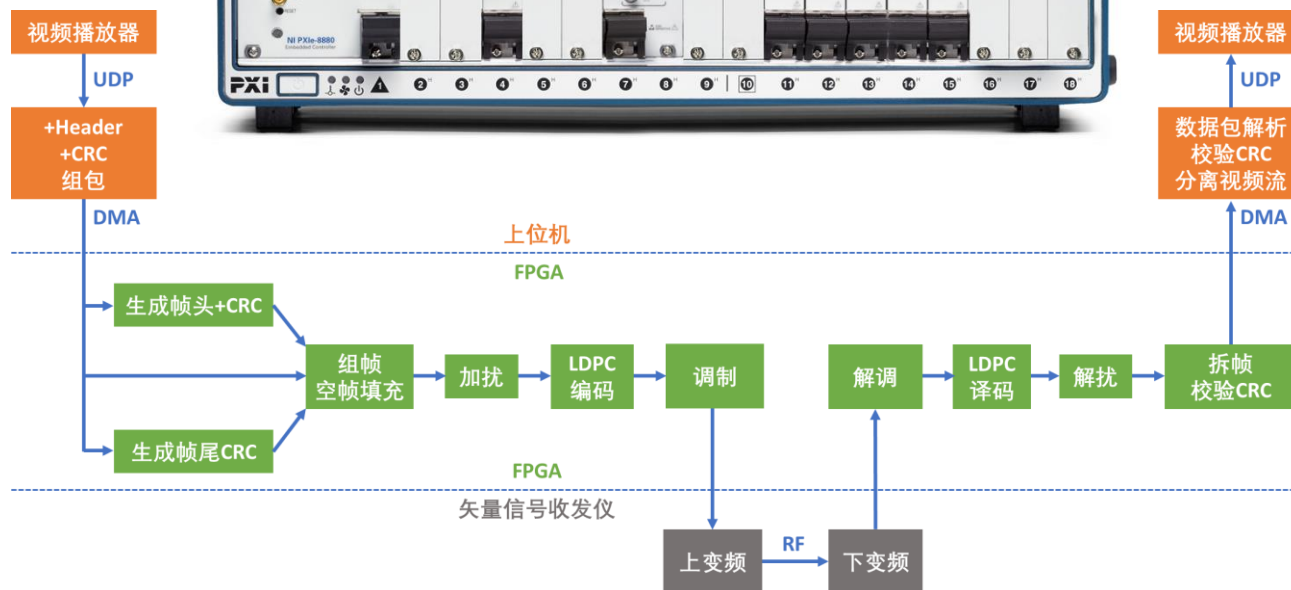
模拟真实星上数传发射机、地面接收站或包括信关站、用户终端在内的宽带卫星通信系统

## 应用场合

- 遥感卫星高速数传 (HDR)
- 数字视频广播 (DVB)
- 通信业务载荷测试
- 低轨卫星宽带接入原型

## 主要特征

- BPSK/QPSK/8PSK/16APSK/32APSK调制模式
- 高达500MBaud符号速率 (2.5Gbps @ 32APSK)
- 实时测量调制EVM, 物理层BER, 链路BLER
- 依据CCSDS与DVB-S2标准
- 可定制化二次开发





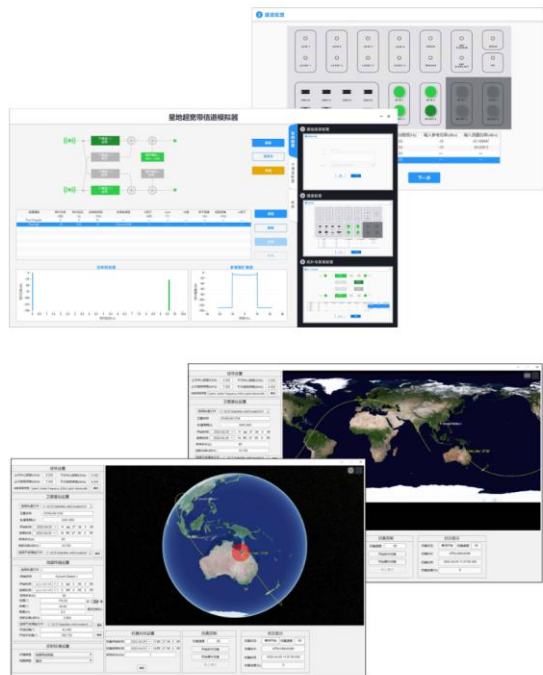
# 星地超宽带信道模拟器

## 应用场合

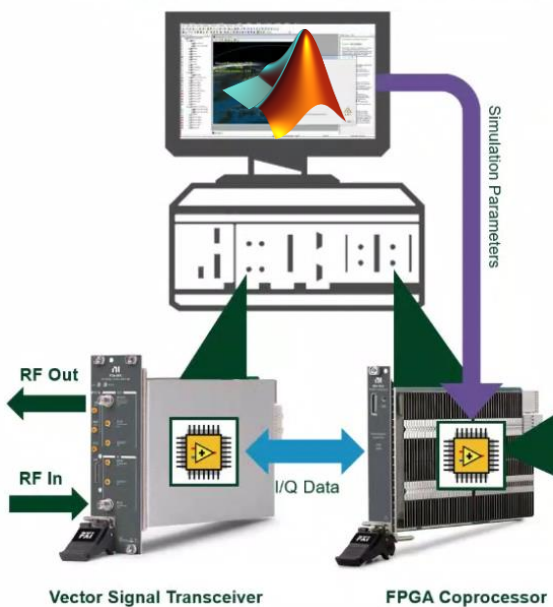
- 系统/网络级仿真：与NI现有端到端通信原型系统 (DVB, MF-TDMA, 4G-LTE, 5G NTN)结合，仿真验证整个网络系统性能
- 链路级仿真：在实验室内模拟外场环境，验证测试卫星通信载荷或地面终端实际性能
- 5G非地面网络(NTN)与6G研究验证

## 主要特征

- 通道数量：2收2发，4收4发
- 实时带宽：500 MHz – 1GHz
- 最大时延：1000 ms
- 最大多普勒频偏：10 MHz
- 最大多普勒扩展：4 MHz
- 衰落模型：
  - Rayleigh
  - Rice
  - Nakagami
  - Lognormal



# 星地超宽带信道模拟器架构



场景生成

卫星信道建模

轨道动态可视化

远程控制

...



硬件控制

信道参数刷新

状态监控

同步定时控制

...



基带处理

实时衰落模型

噪声干扰模型

信道模型施加

...



射频信号收发



# 5G NTN的关键技术挑战

地面5G NR不能适应低轨卫星信道，需要在通信体制上演进，这也是3GPP所定义的5G非地面通信或5G NTN(Non-Terrestrial Network)，下面列出了部分需要克服的技术挑战。

- 物理层波形、算法
  - 大多普勒频移
  - 基于多波束的验证
  - 功率受限
- 随机接入过程
  - 定时提前(TA)
  - 随机接入算法
- 动态调度过程
  - MAC调度
  - HARQ
  - 干扰信号源
  - 频率管理与干扰
- 定制化设计与修改
  - ...



# 5G NTN gNB/UE原型系统

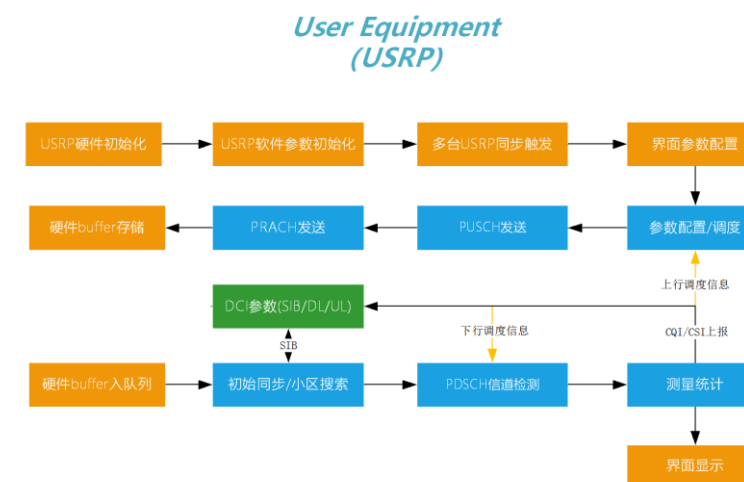
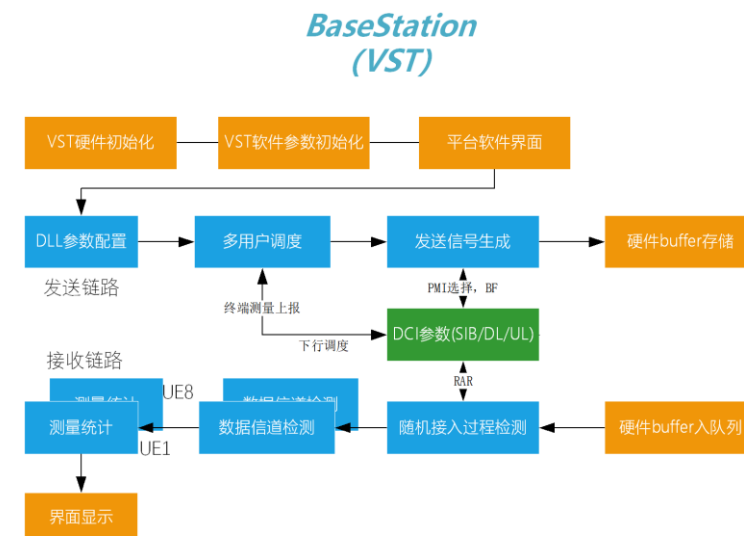
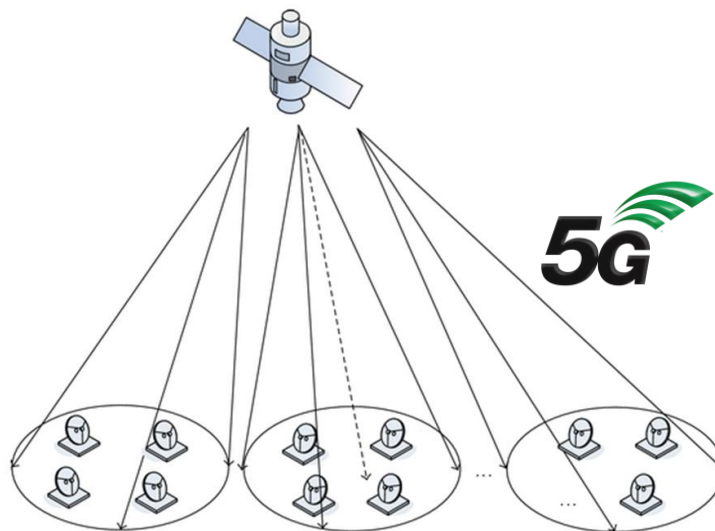
- 基于3GPP 5G NR协议，根据低轨卫星信道特点的定制化设计
- 较为完整的物理层过程实现
- 支持多波束设计与验证
- 模拟多终端(USRP)与基站(PXI VST)的交互过程
- 专用同步信号实现与星地宽带信道模拟器的同步
- 为适应星地信道与低轨多普勒频移，在gNB和UE端，基于5G NR进行算法开发，并支持后续的二次定制开发

LabVIEW

MATLAB

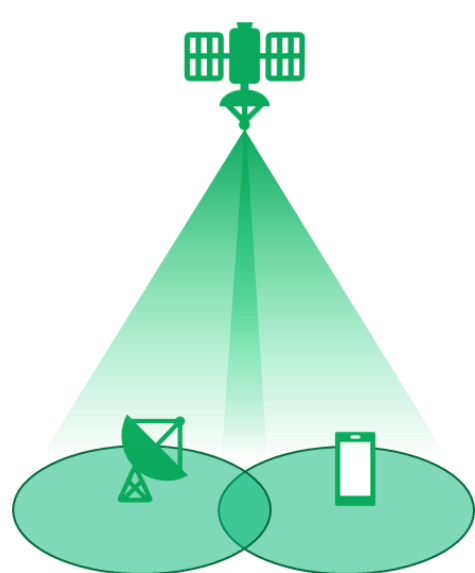
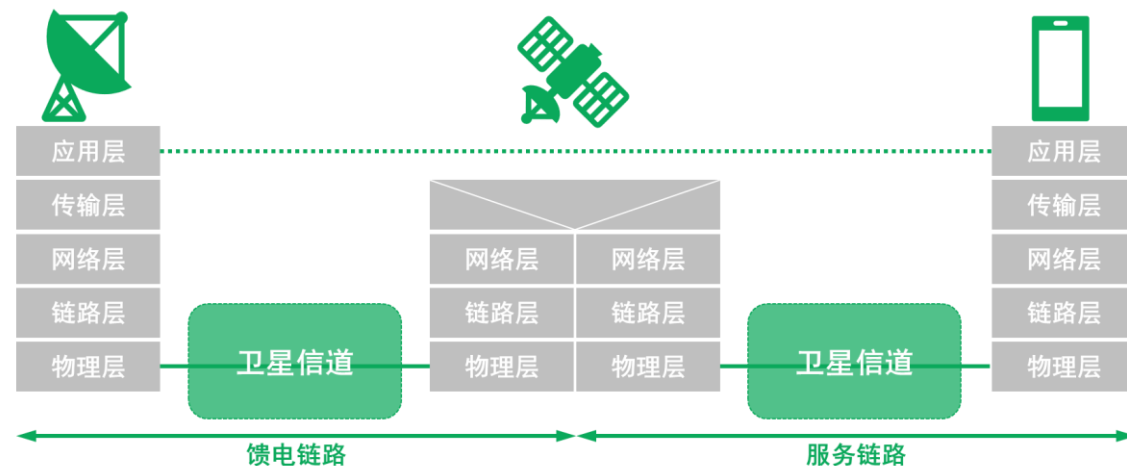
VST/USRP驱动 LabVIEW API

NI VST  
NI USRP



# Satellite-enabled 5G NTN原型与验证系统

- 可用于5G NTN通信体制研究、设计与验证
- 基于通用硬件模块开发的**低轨卫星模拟器**与**星地宽带信道模拟器**，具有灵活二次开发的特点
- 基于SDR硬件的宽带用户终端模拟器，支持多用户场景扩展
- 星地宽带信道模拟器在实验室模拟产生低轨卫星的通信信道
- 可在实验室仿真低轨星座，用于验证手机/用户终端的原型机



用户链路



用户链路



# 演示系统

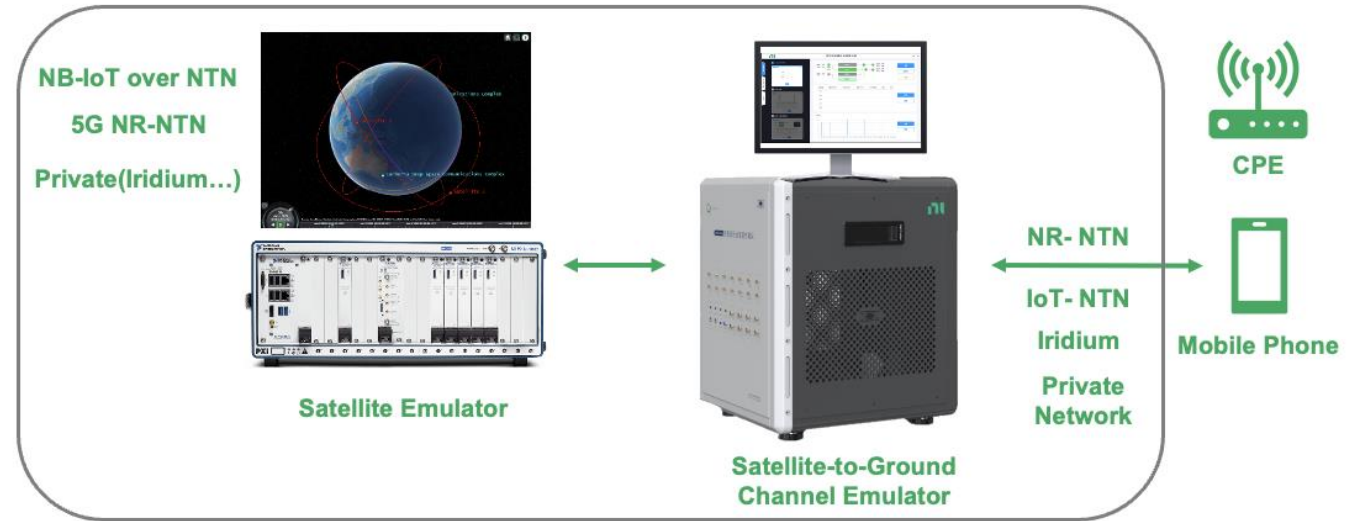
- 5G NTN gNB基站(卫星端)
- 星地超宽带信道模拟器
- 5G NTN UE用户终端





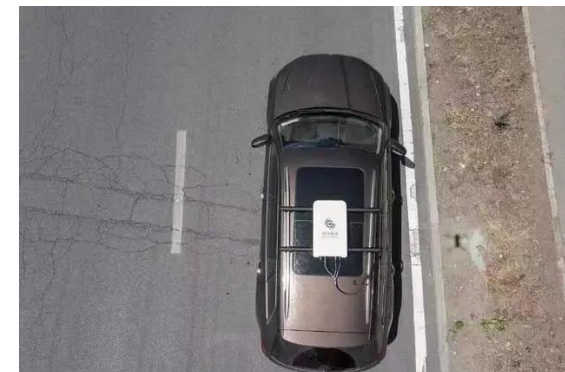
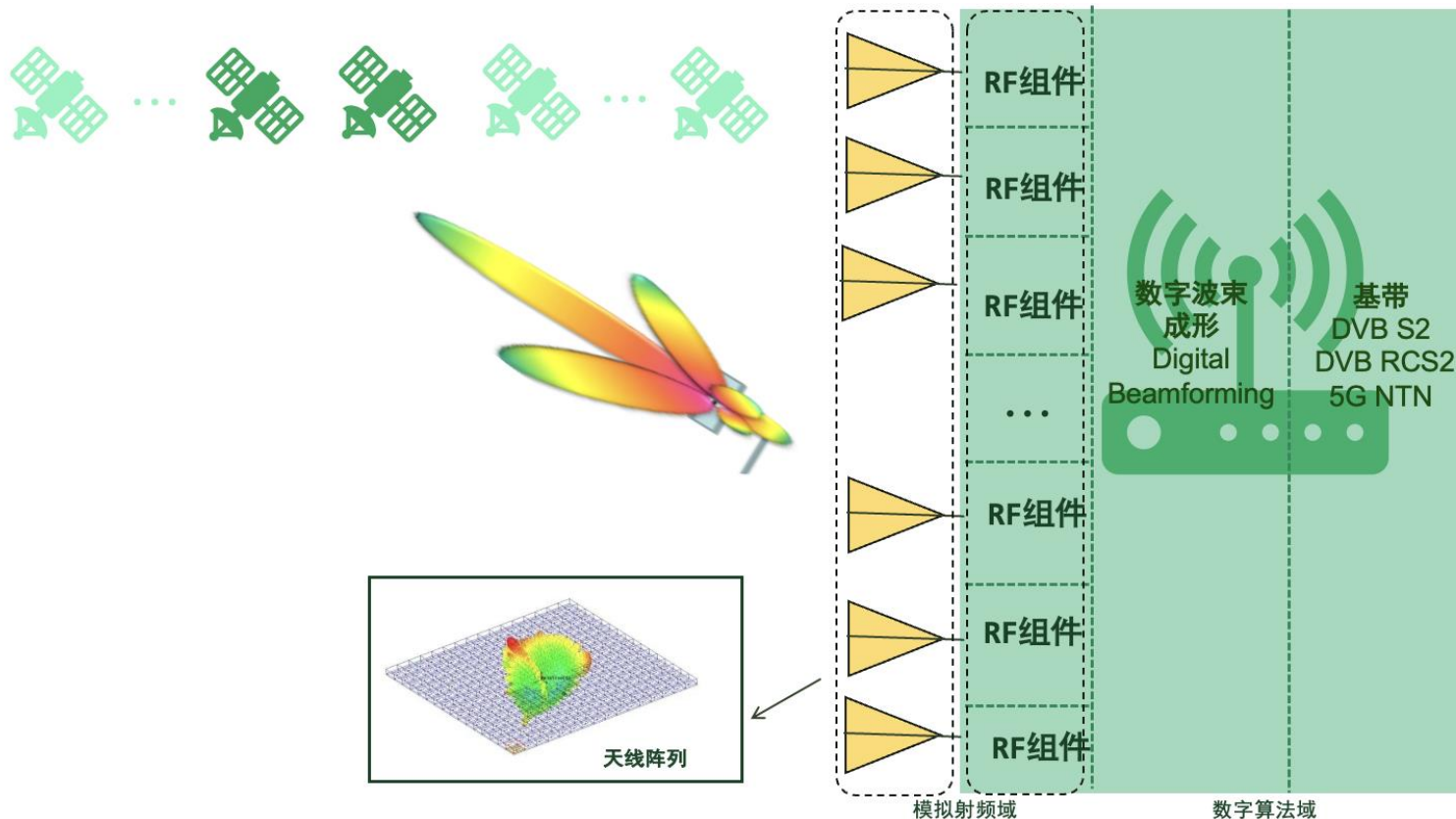
# NTN(Non-Terrestrial Network) 原型到测试

Channel Emulator    5G NTN UE    5G NTN gNB(Satellite)



# 关键技术二：相控阵是低轨卫星终端发展的关键

- 大带宽、全空域的终端天线技术是毫米波、太赫兹、6G等愿景的基石
- 通信向大带宽、高频段发展的过程中，有限功率下的连接能力至关重要
- 低轨卫星的高速运动，以及长距离通信都给连接能力提出了很高的要求



# TTD Digital Beamforming 真时延数字波束赋形

## 现状

- 电扫多波束跟踪技术是卫星互联网普及的关键
- 宽带波束成形中出现的beam-squint现象已被行业重视
- 大带宽、全空域的终端天线技术是THz/mmWave/6G和全息通信等愿景实现的基石。

## 方案

- 基于数字真时延技术的宽带多波束相控阵天线阵列架构

## 核心技术

- 基于凸优化理论的可变分数延迟滤波器设计；
- 基于多项式反演的通道一致性补偿技术；
- 创新的多波束跟踪架构。

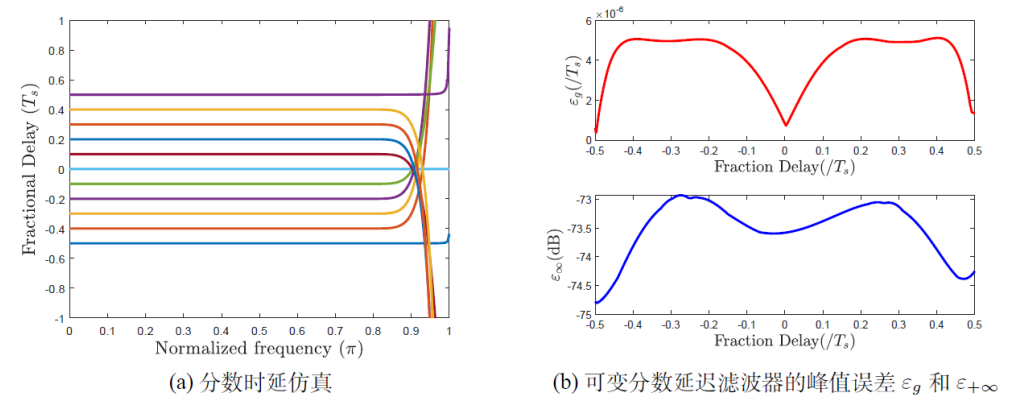


图 1：飞秒级别的高效时延调整技术

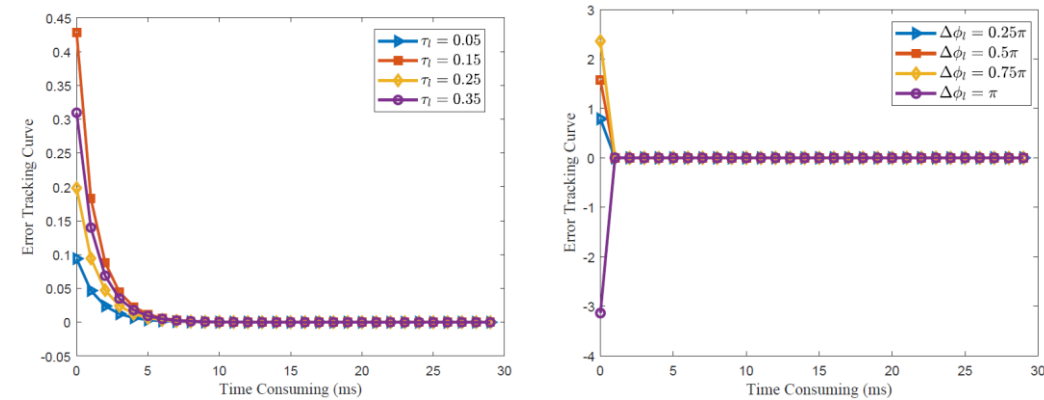
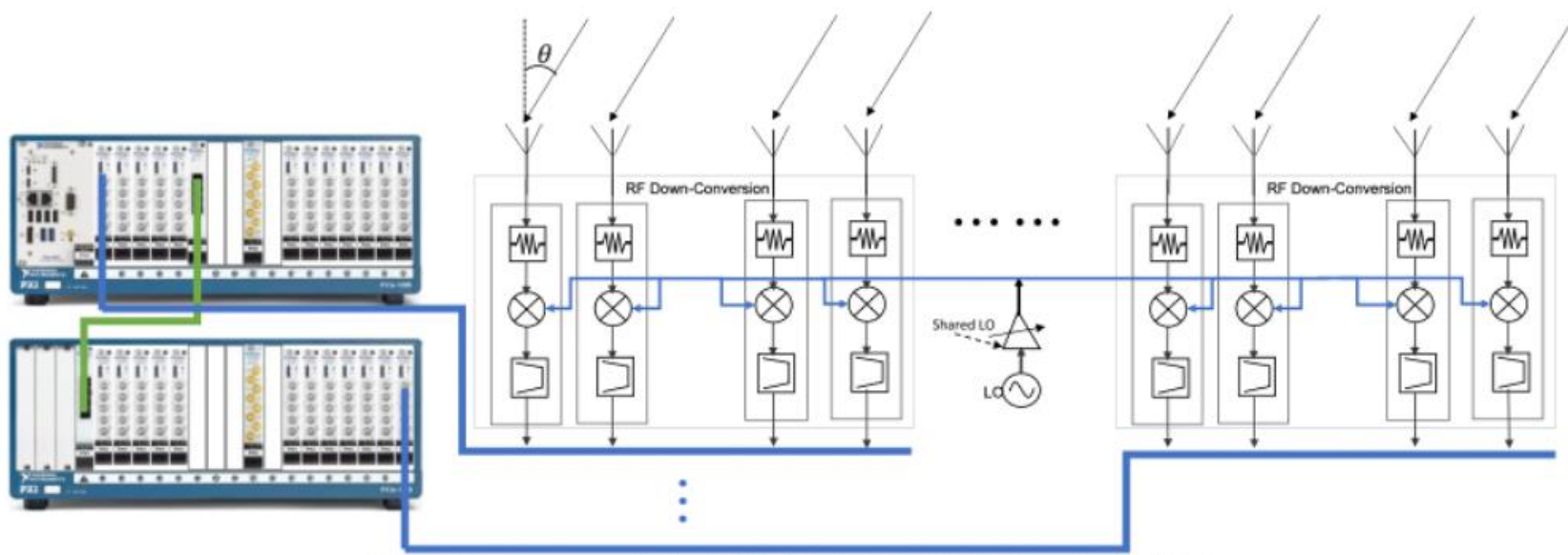


图 2：低信噪比下通道一致性补偿技术跟踪仿真



# 数字波束赋形架构

- 多波段/多波束真时延阵列架构
  - 多波段/多波束支撑；
  - 超宽带信息处理；
  - 400MHz的宽带解析能力。



# 数字波束赋形算法验证

## 验证场景：

- 多波束真时延阵列架构宽带通信场景仿真
- 仿真场景：阵元为128规模的宽带波束跟踪原型系统

## 验证结论：

- 400M带宽内波束指向精准
- 通信质量不因带宽增加而恶化
- 宽带多波束场景中通信质量损失小

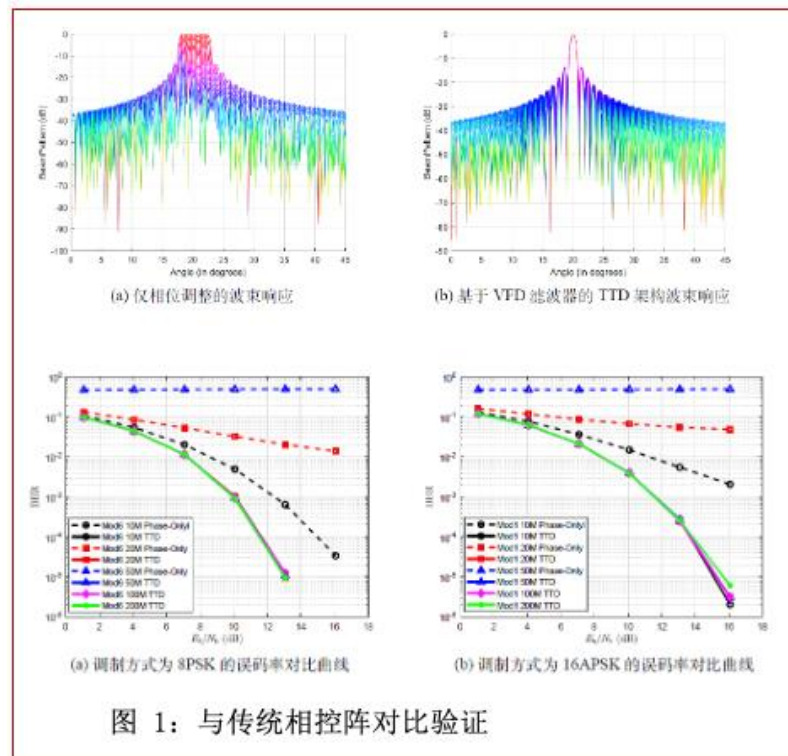


图 1：与传统相控阵对比验证

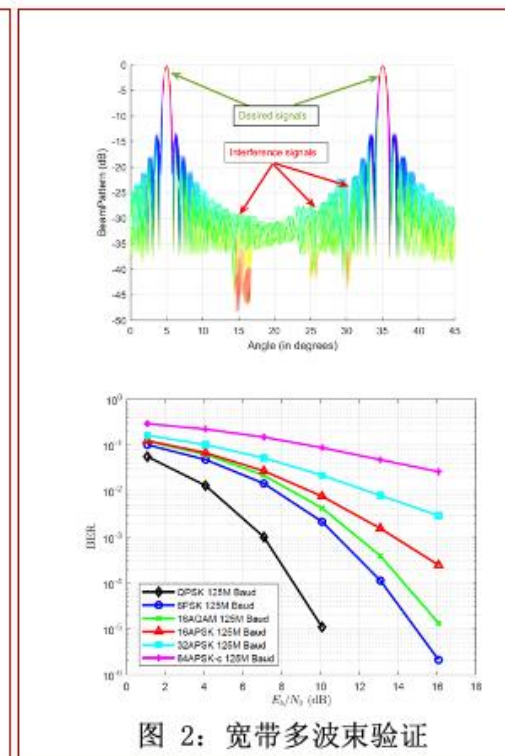
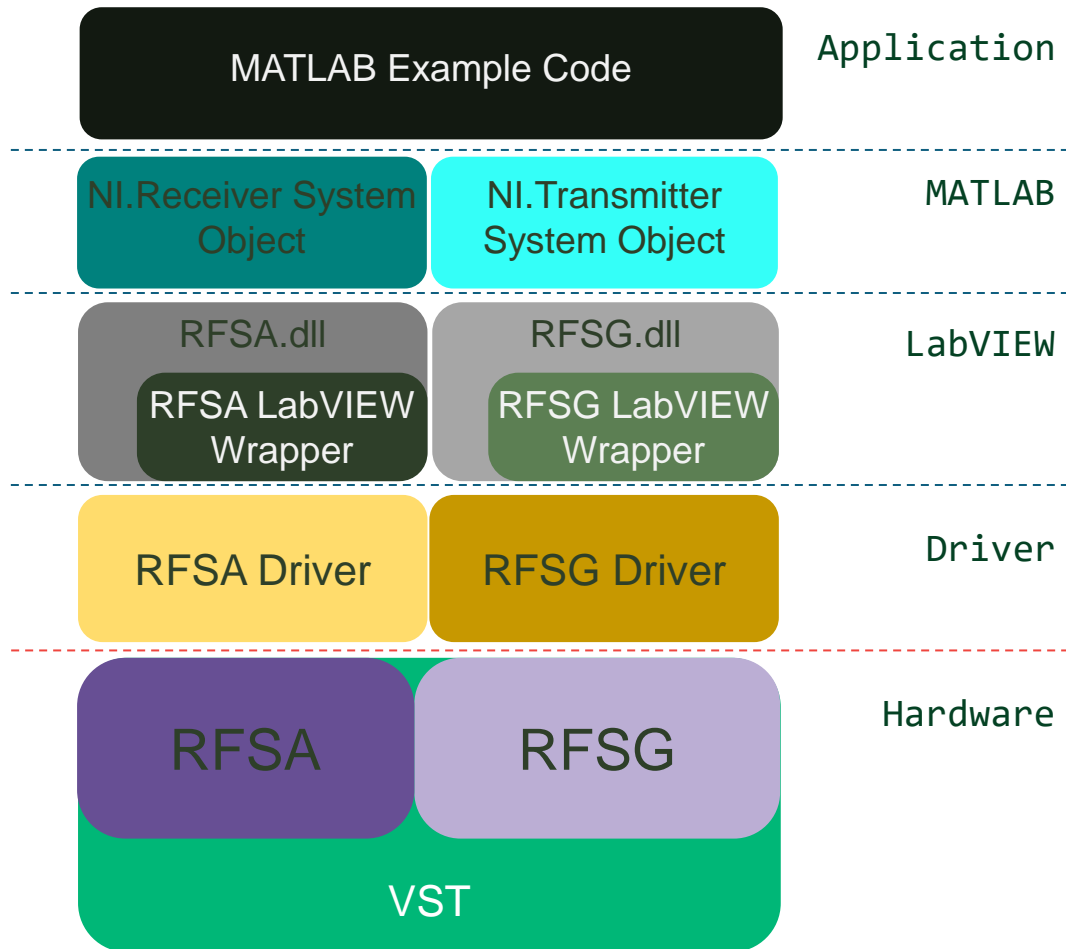


图 2：宽带多波束验证

# 汽车雷达原型架构

## 软件架构



**23 GHz\* VSA with up to 2 GHz Instantaneous BW**  
 \* 26.5 GHz available in H2.2023

