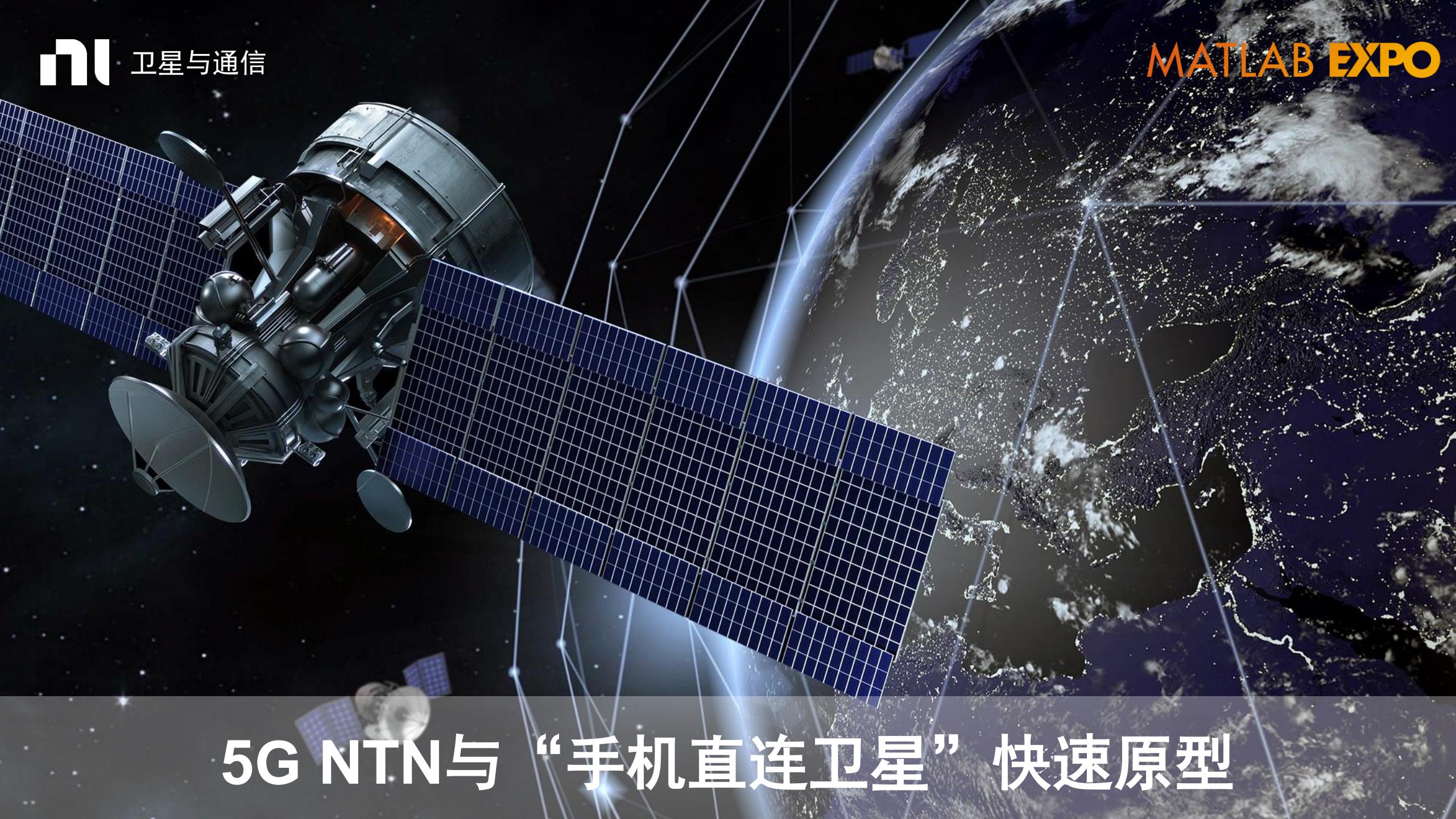




卫星与通信

MATLAB EXPO



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

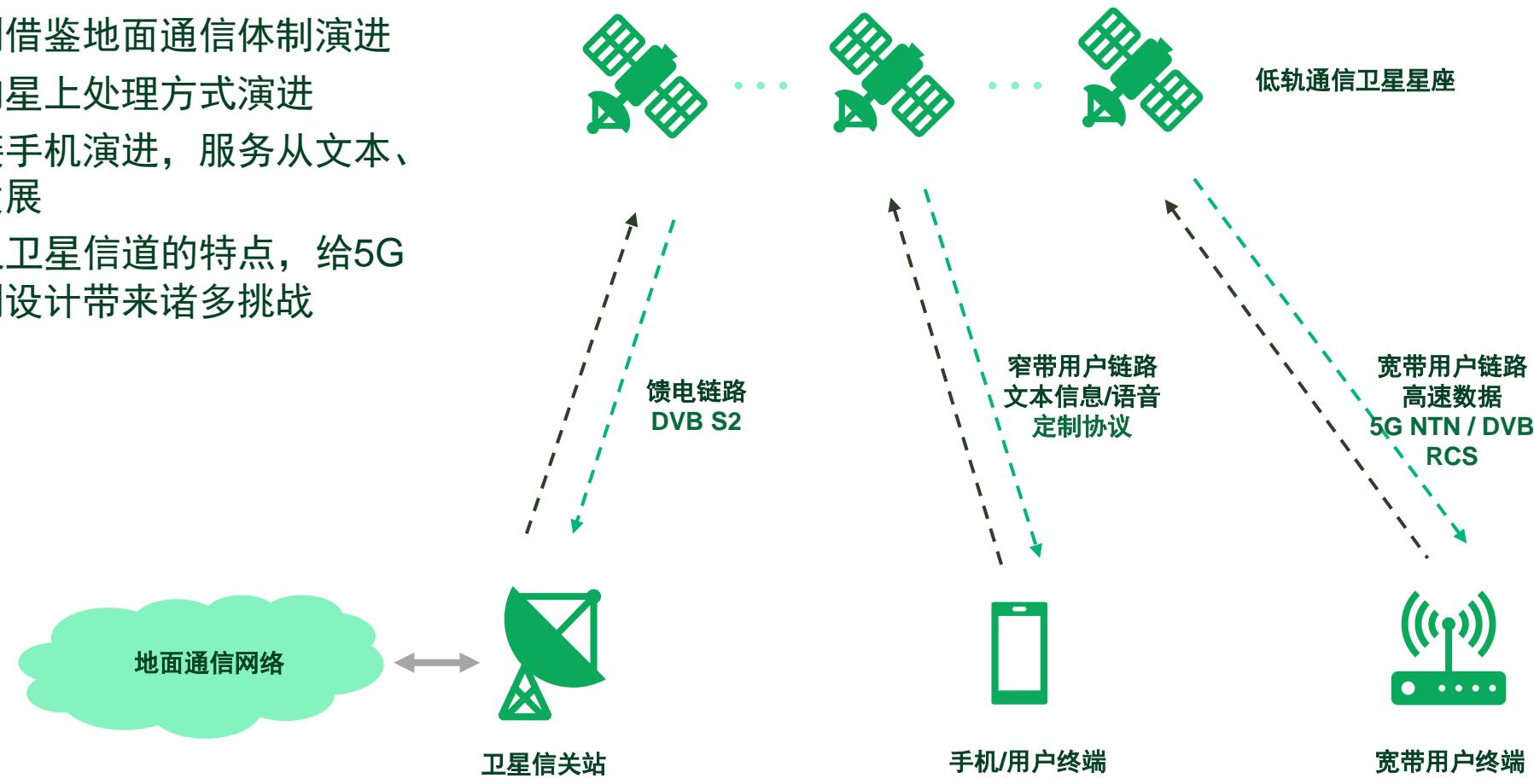
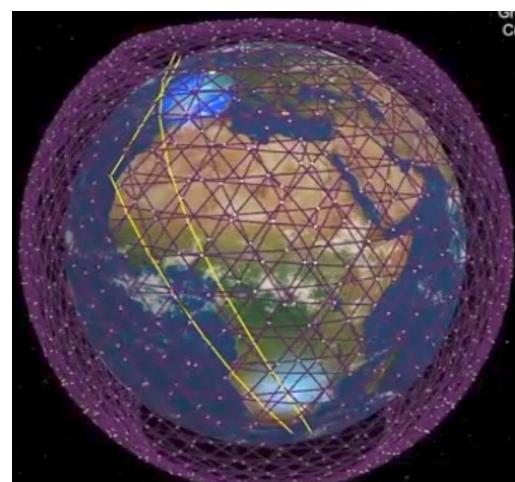
手机直连卫星

- “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



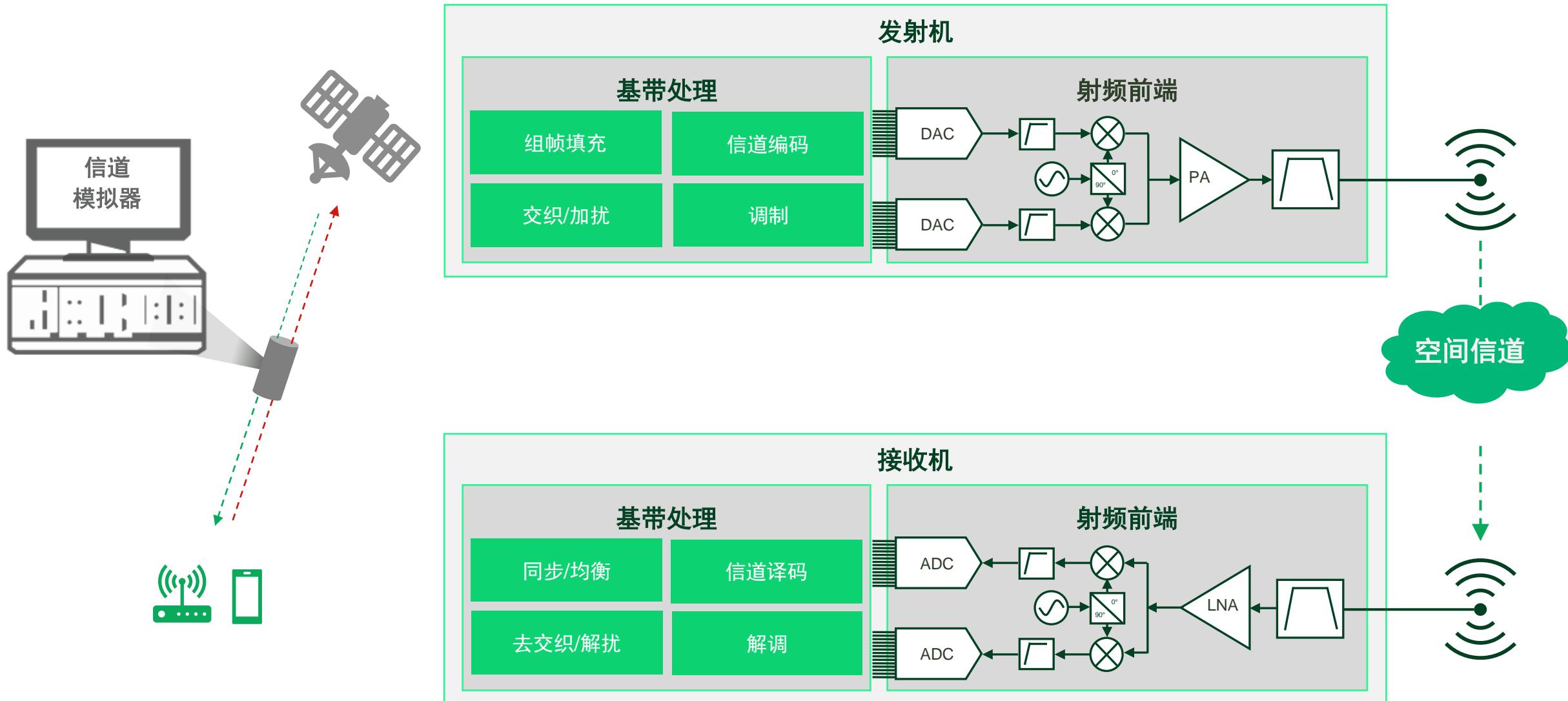
关键技术一：卫星与地面网络融合体制的技术演进

- 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



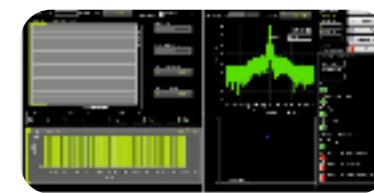
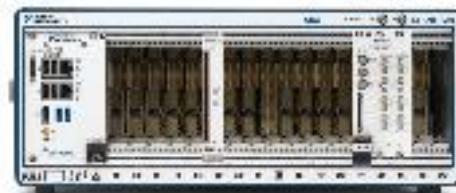
非地面通信的端到端通信链路

基于MATLAB与SDR硬件实现全链路的原型验证

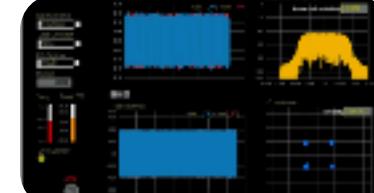


基于NI软件无线电的通信原型验证

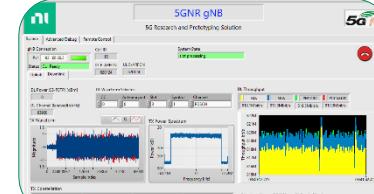
TT&C
USB/DSSS



HDR/通信业务链路
DVB S2/MF-TDMA



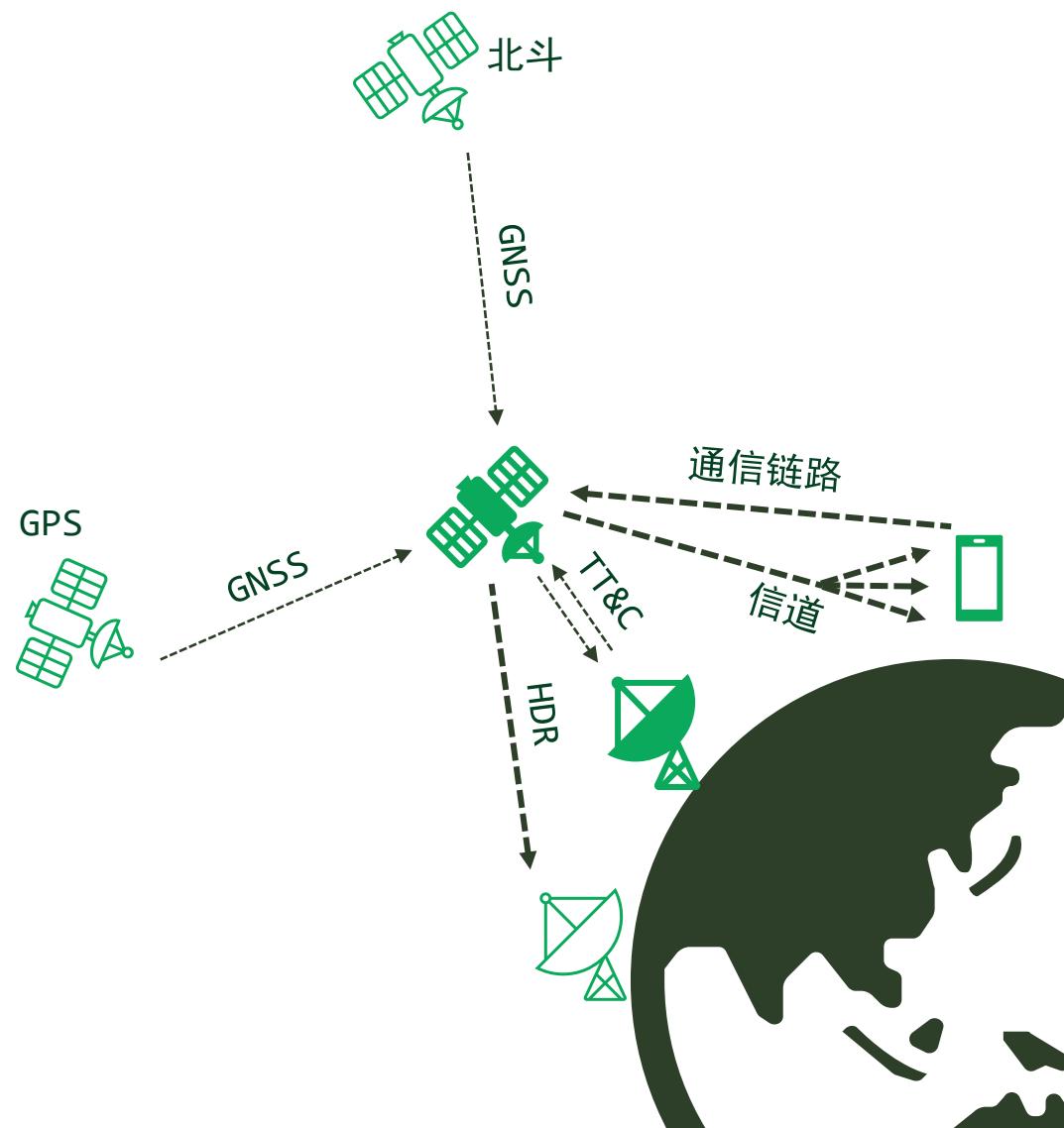
5G NR/5G NTN



信道模拟

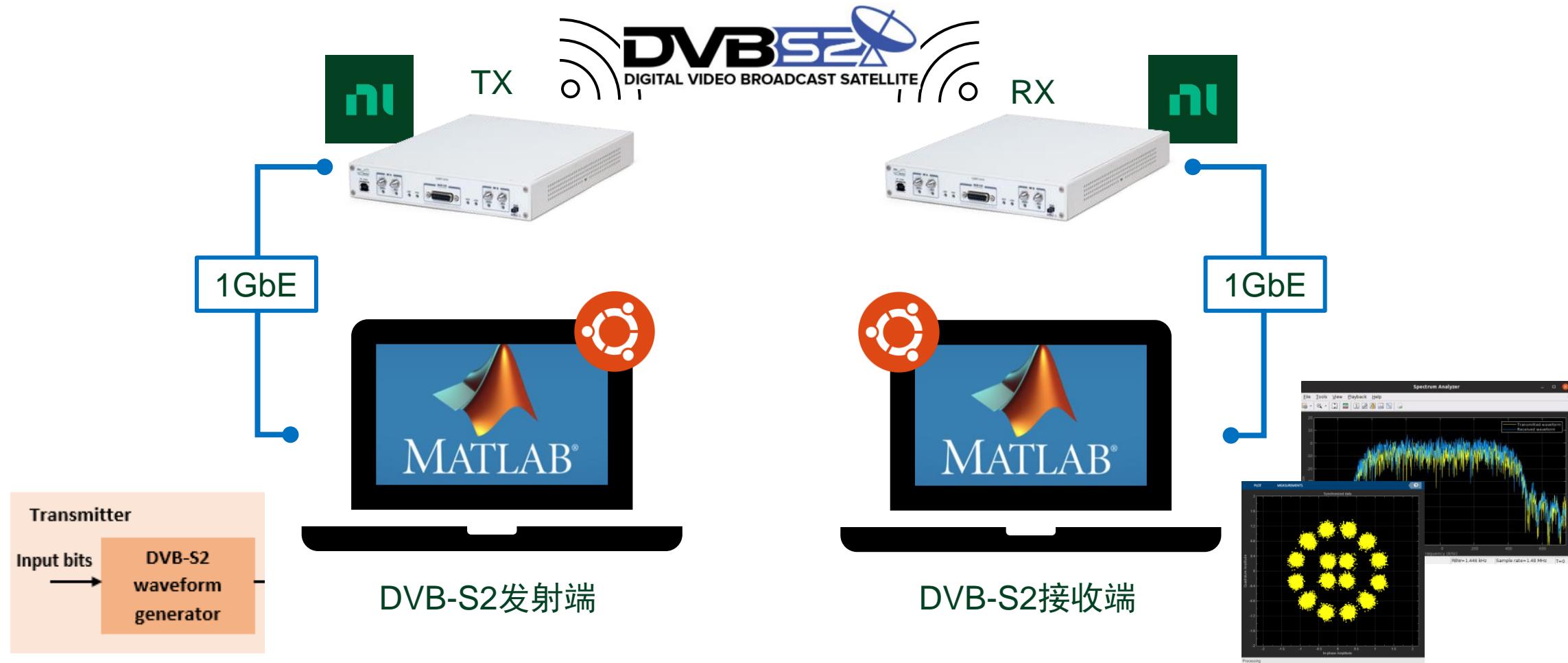


宽带RF录制回放



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)

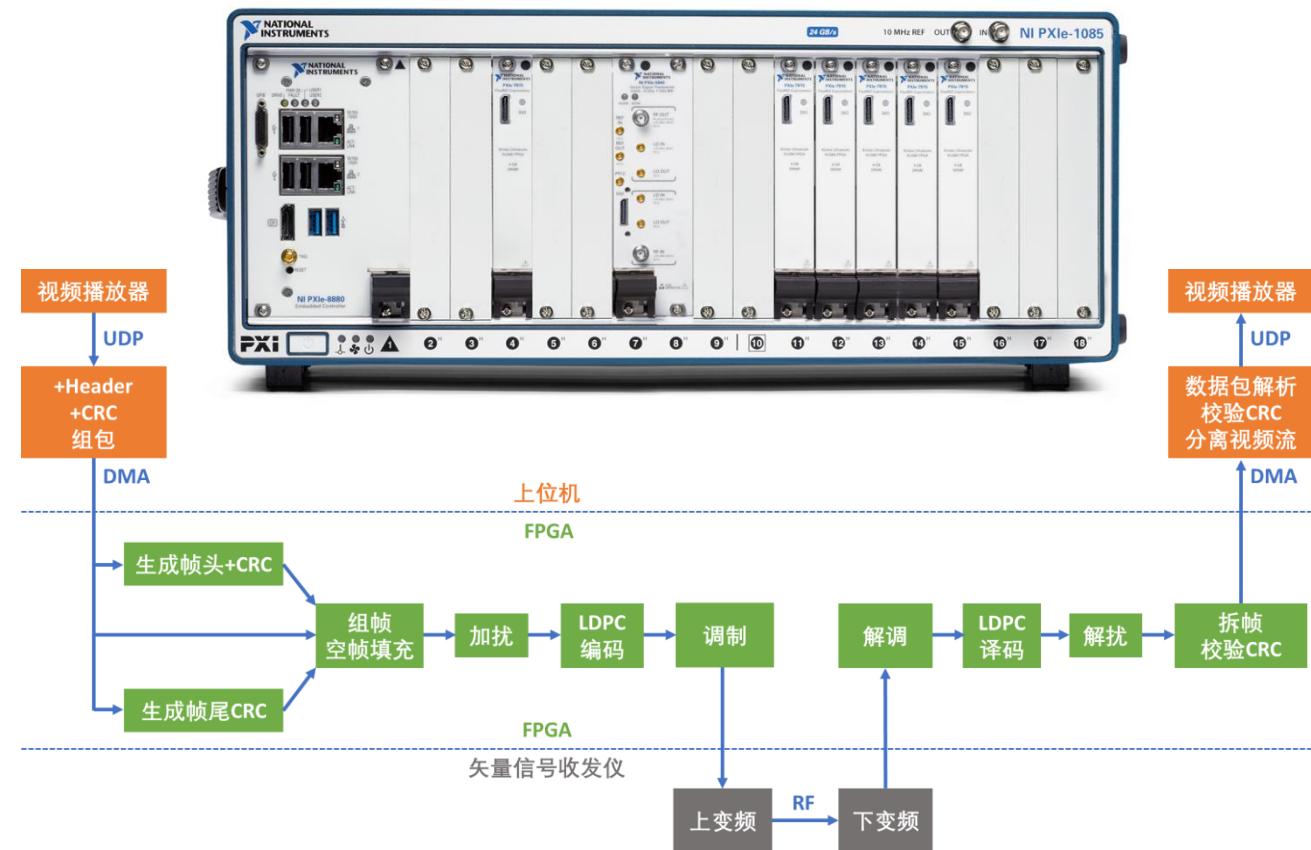
模拟真实星上数传发射机、地面接收站或包括信关站、用户终端在内的宽带卫星通信系统

应用场景

- 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



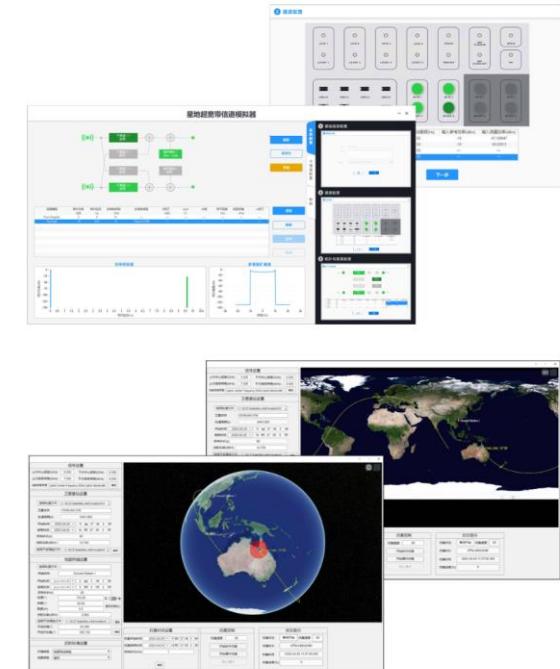
星地超宽带信道模拟器

应用场景

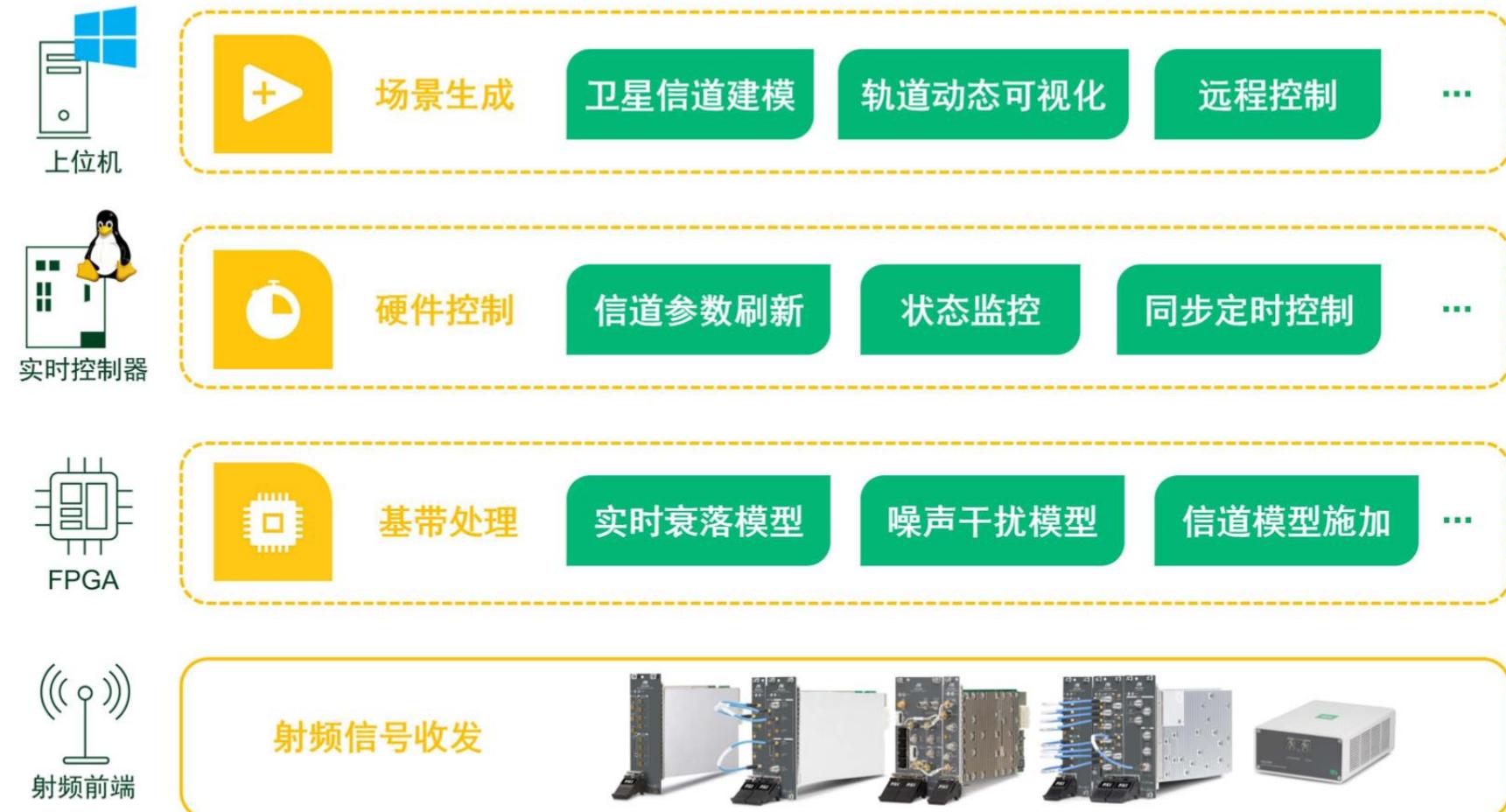
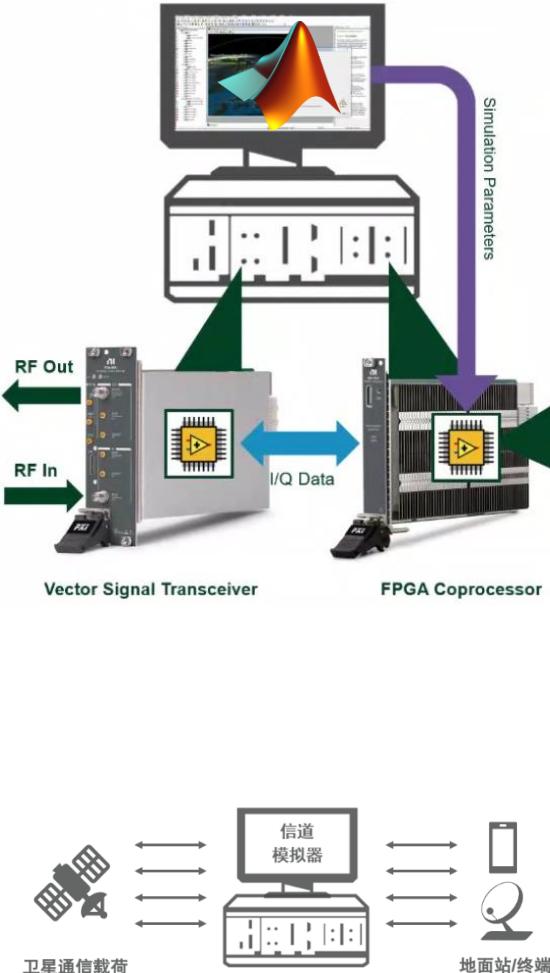
- 系统/网络级仿真：与NI现有端到端通信原型系统 (DVB, MF-TDMA, 4G-LTE, 5G NTN)结合，仿真验证整个网络系统性能
- 链路级仿真：在实验室内模拟外场环境，验证测试卫星通信载荷或地面终端实际性能
- 5G非地面网络(NTN)与6G研究验证

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



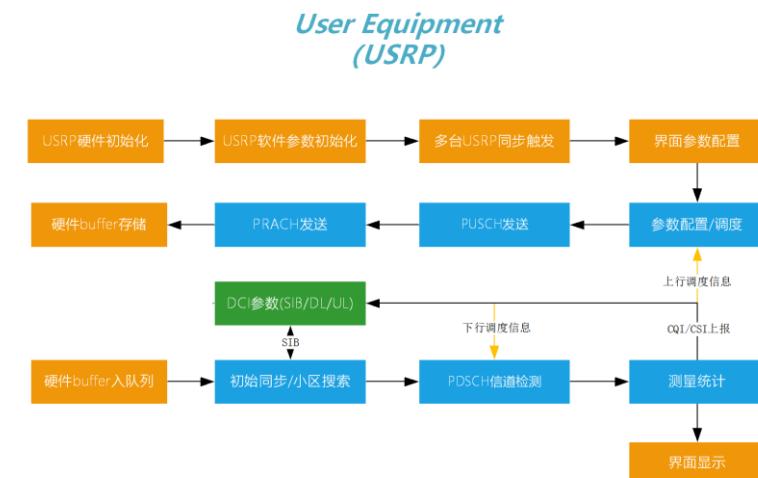
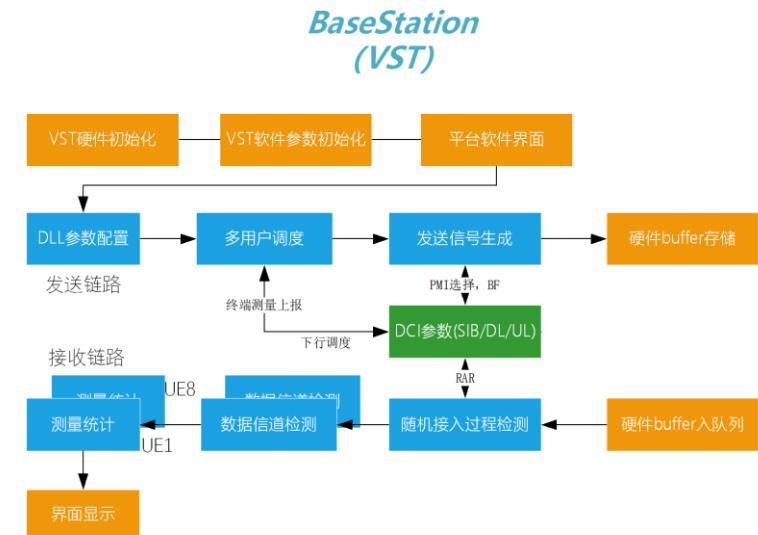
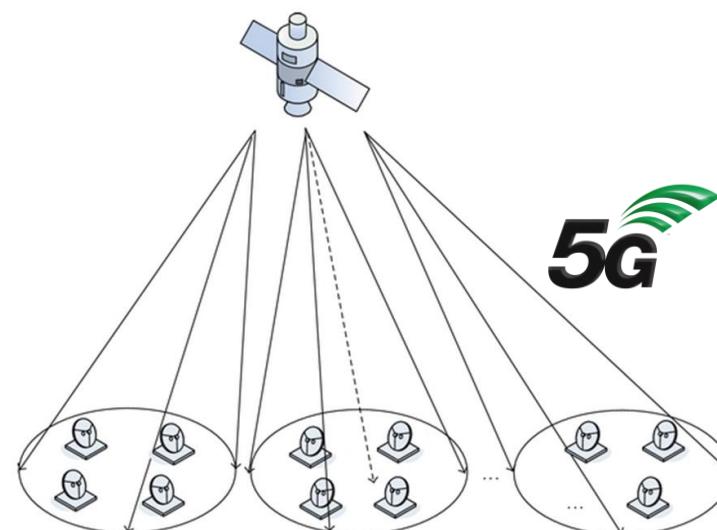
5G NTN的关键技术挑战

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
 - 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
 - ...

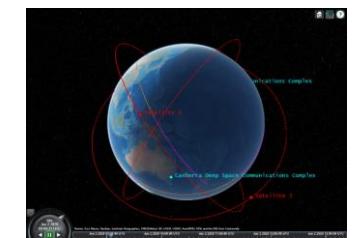
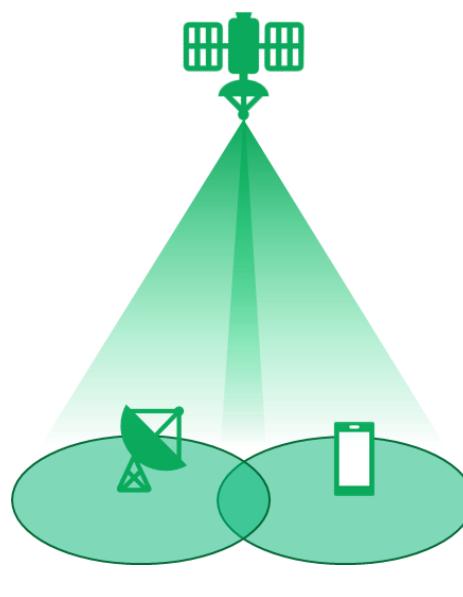
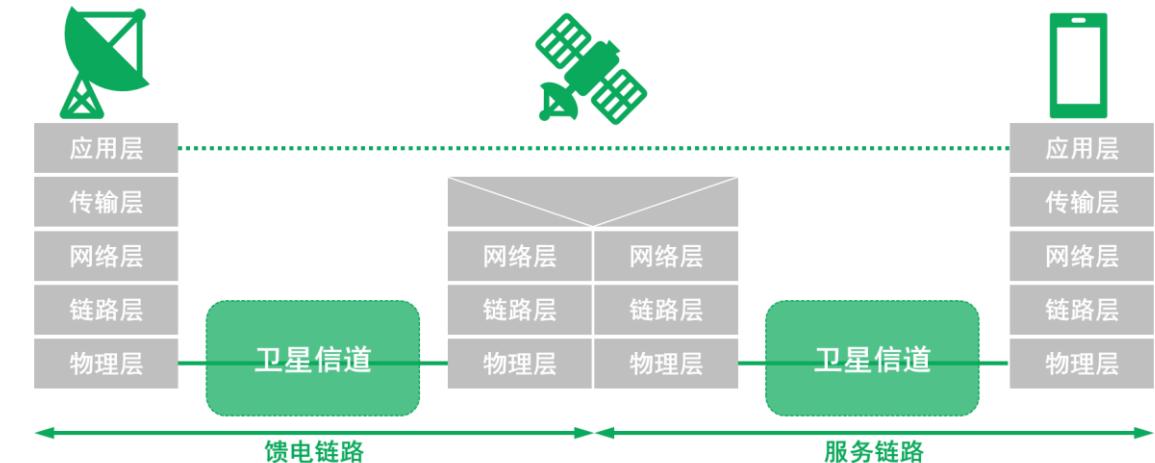
5G NTN gNB/UE原型系统

- 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



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



低轨卫星模拟器



gNB

↔
用户链路
↔



星地宽带信道模拟器

↔
用户链路
↔



用户终端模拟器



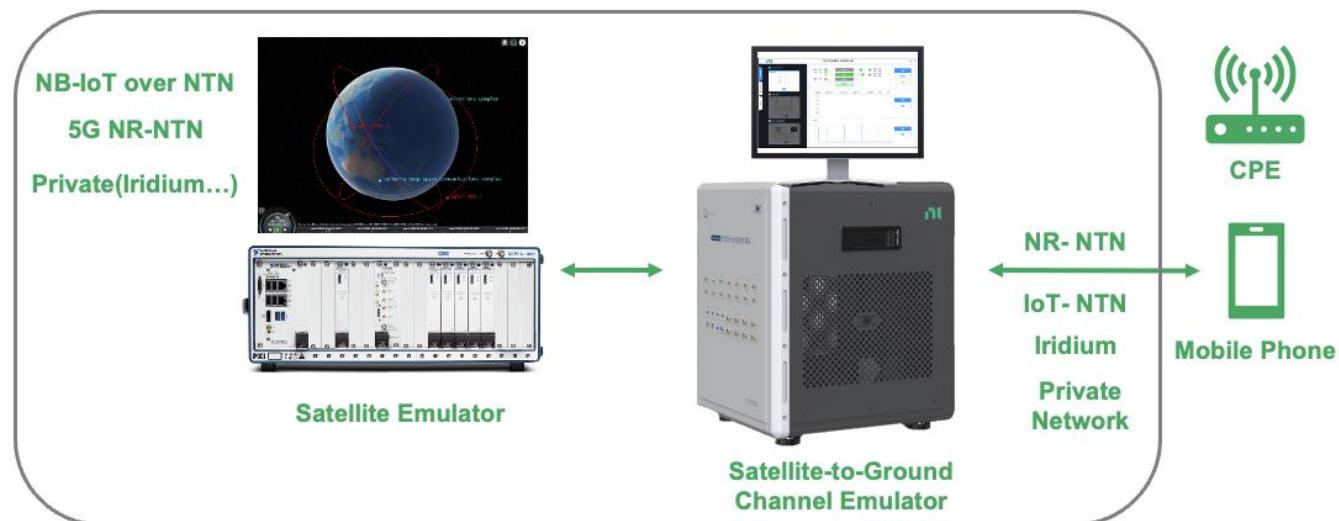
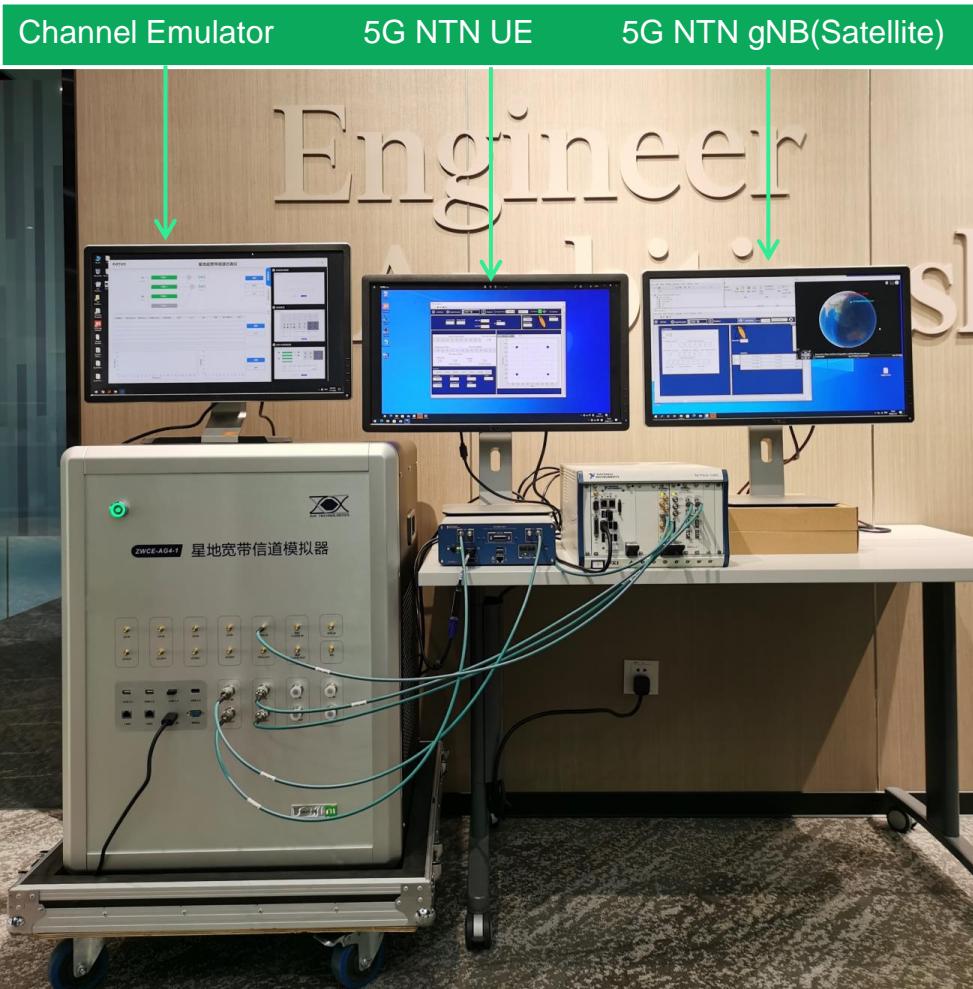
UE

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

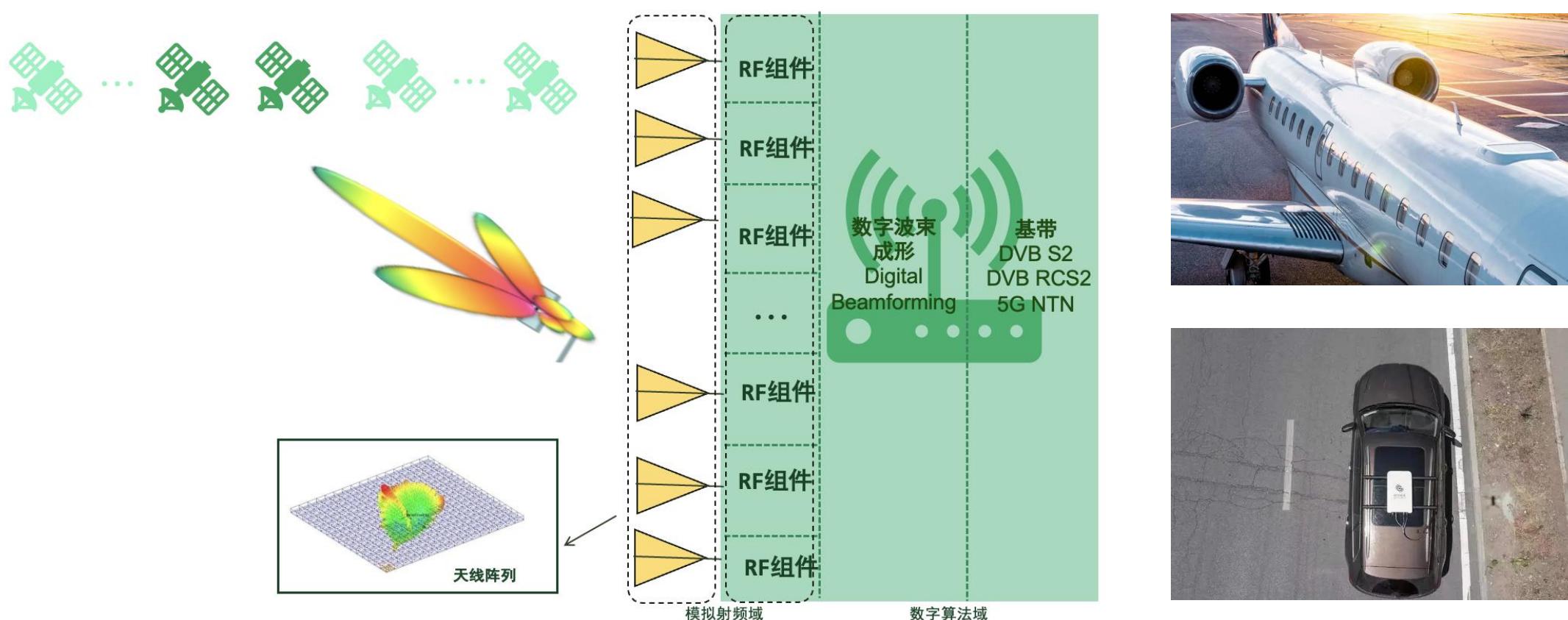


NTN(Non-Terrestrial Network) 原型到测试



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.

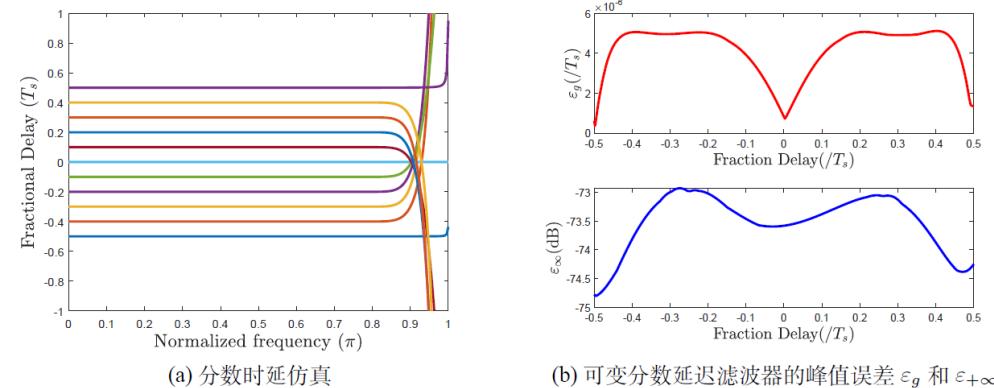


图 1：飞秒级别的高效时延调整技术

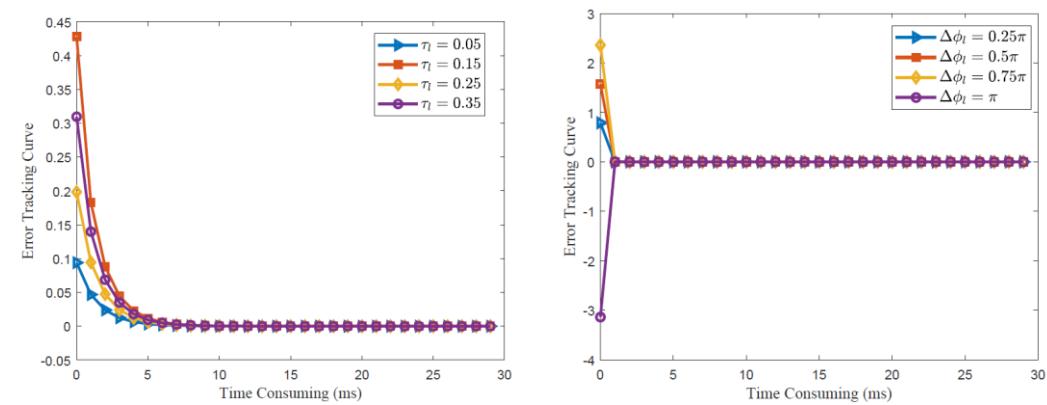
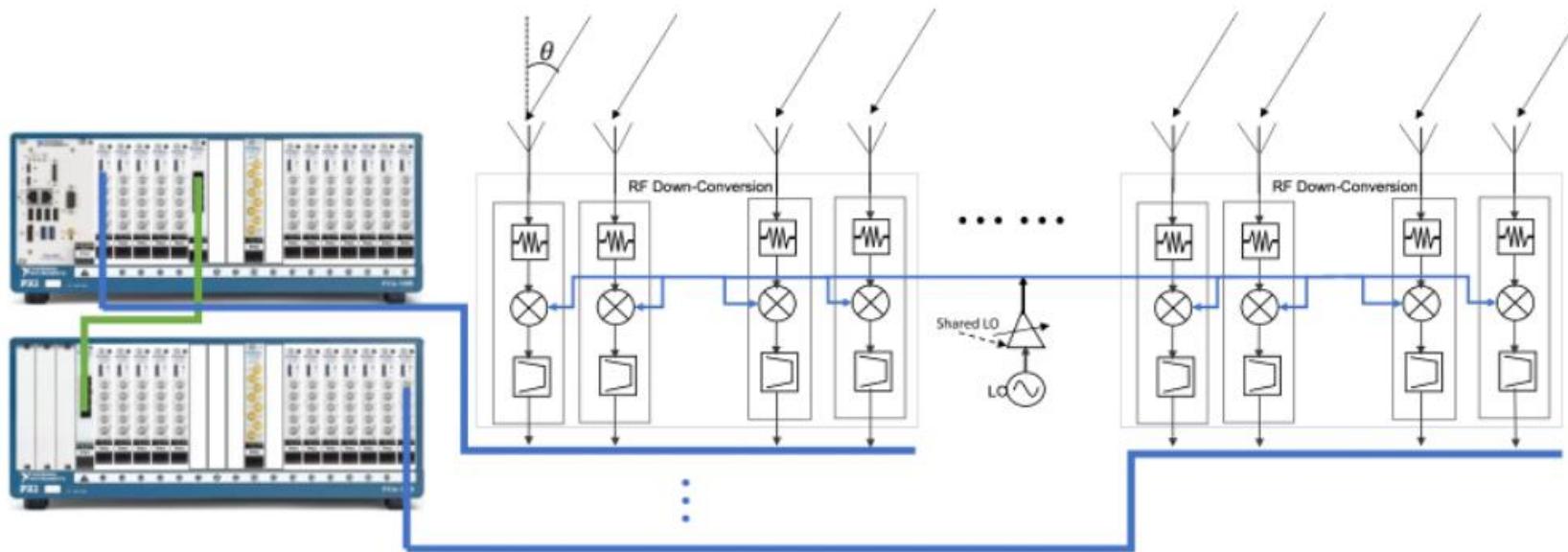


图 2：低信噪比下通道一致性补偿技术跟踪仿真

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

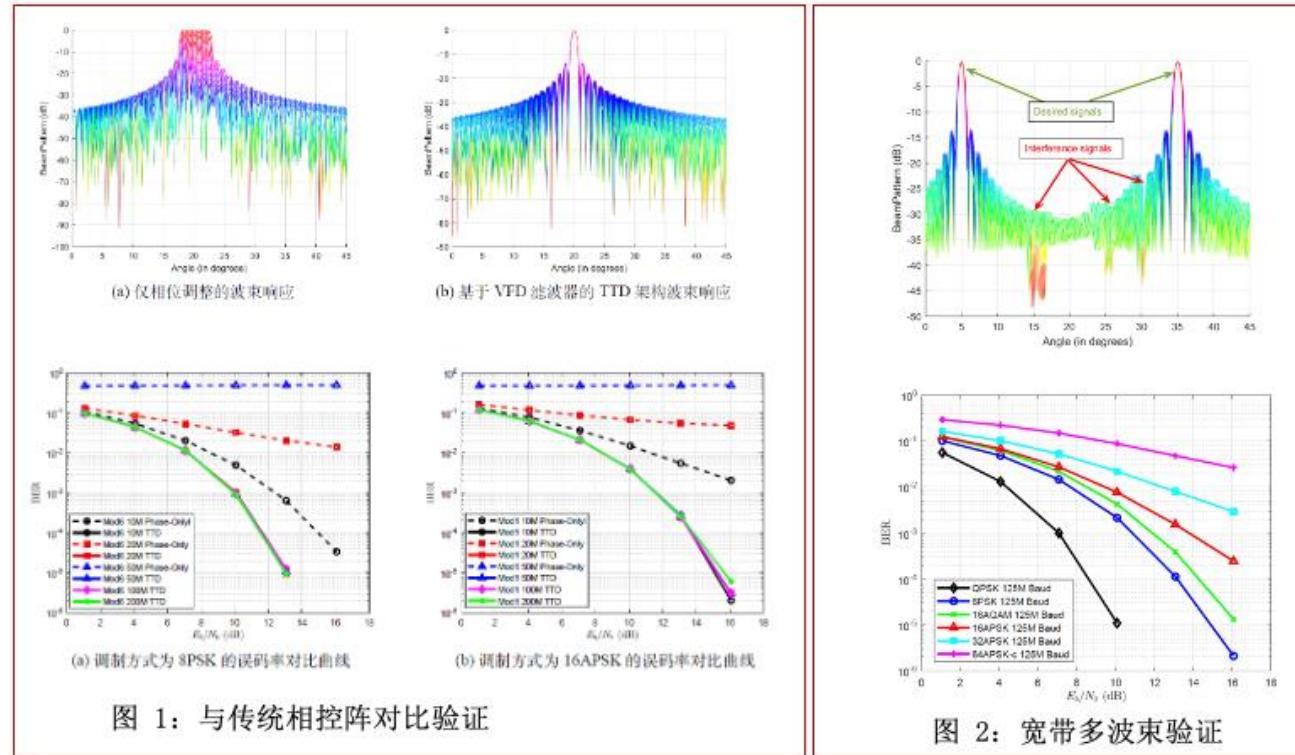


图 1：与传统相控阵对比验证

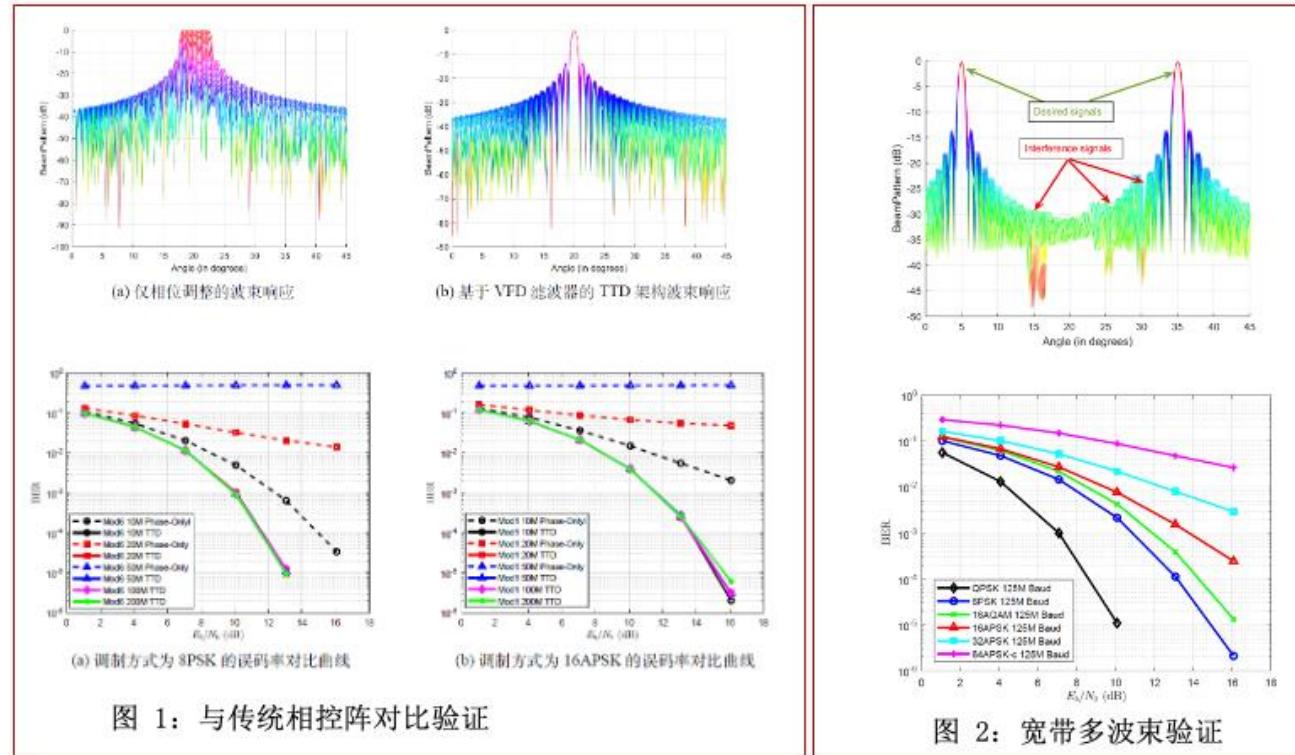
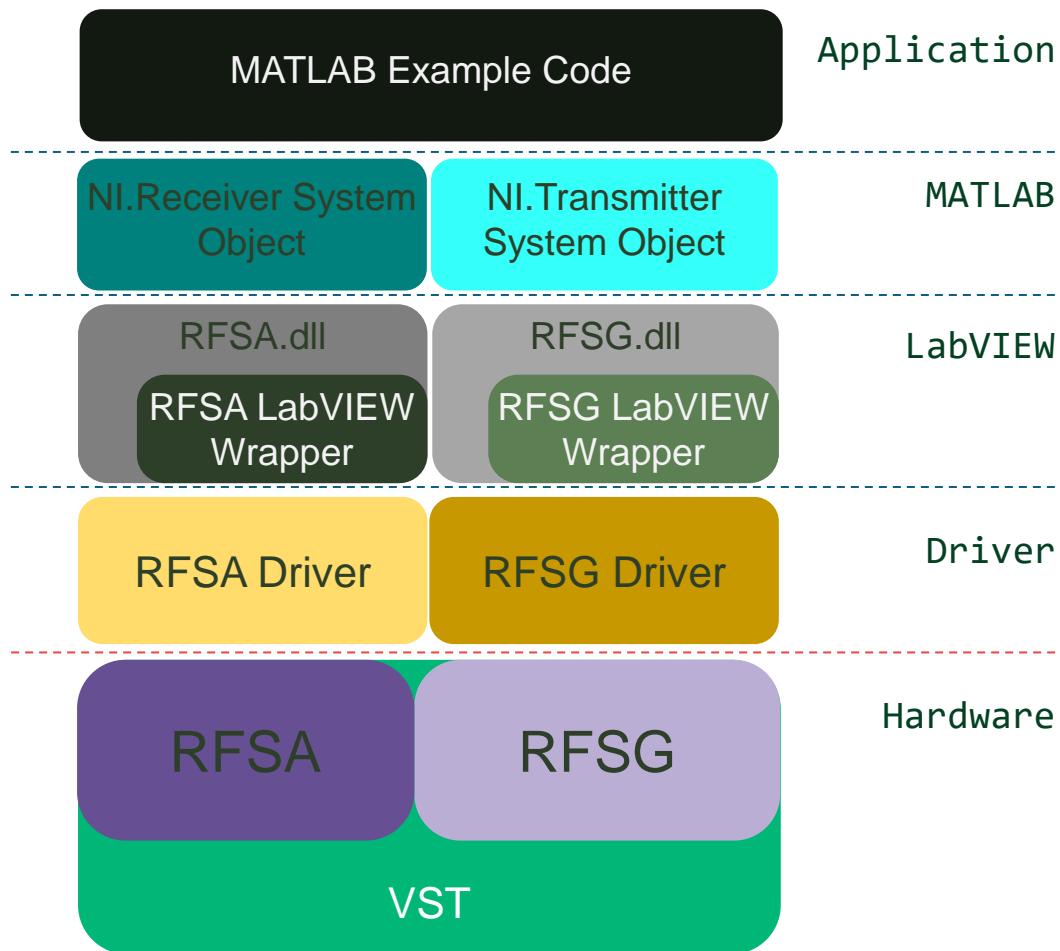


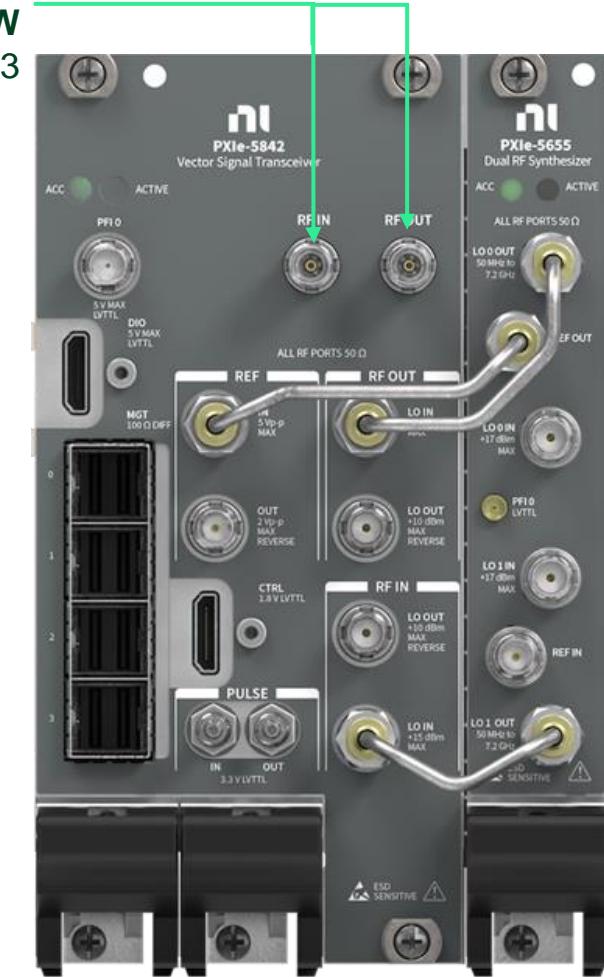
图 2：宽带多波束验证

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





mi