

毫米波开发验证平台 系统方案

Millimeter wave development and verification platform





➤ 一、背景概述

毫米波开发验证平台系统方案

毫米波频段具有以下优势：

- (1) 可以分配更大的带宽，意味着可以达到更高的数据速率；
- (2) 信道容量随带宽增大而提高，从而极大地降低数据流量的延迟；
- (3) 毫米波段上不同频段的相对距离更近，使得不同的频段更具有同质性；
- (4) 波长更小，可以利用极化和新的空间处理技术，例如大规模MIMO技术和自适应波束赋形技术。

天线阵列

毫米波大规模 MIMO 系统的信道模型具有很强的视距路径分量。

毫米波大规模MIMO波束成形技术可以分成两种：基于透镜天线阵列和基于射频天线阵列的波束成形技术，适当的波束选择算法可以在保证一定系统性能的情况下，使得需要工作的辐射器数量骤减，从而大大减少所需的射频链路数。因此，当前基于透镜天线阵列的波束成形技术的主要研究方向就是设计合适的波束选择算法，目前已经有大量的算法被提出。

透镜天线生产效率低，不易构造，限制了透镜天线的使用。

普通的射频天线则没有这种缺点，且由其组成的大规模天线阵列可以拥有较小的旁瓣和后瓣，因此，基于射频天线阵列的波束成形技术引起了研究者的广泛关注。

波束赋形

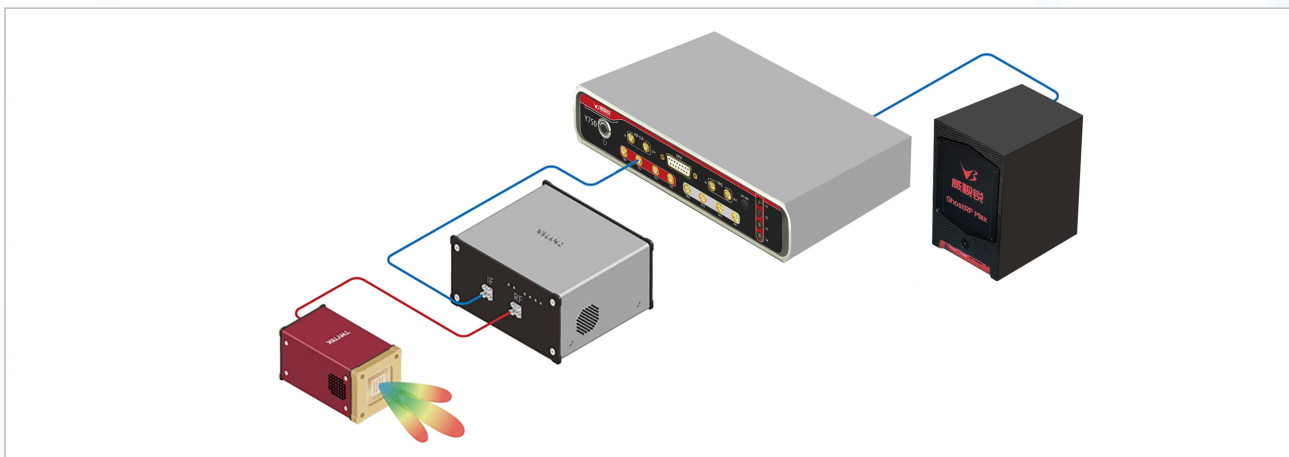
现有的方法：波束成形（BF, Beam Forming）技术，多天线阵元接收到的各路信号进行加权合成，让信号集中在指定的方向传输，相当于形成了具体指向上的波束，从而提高了信号的抗干扰能力，解决路径损耗较大的问题。

如何将波束快速地对准用户及初始接入，如何有效设计高效地兼容覆盖与传输质量的同步波束训练、移动用户接入波束训练成为无线通信研究的重点方向。

如何在高效初始波束对准的基础上，研究适应收发机移动环境下的波束追踪对准算法也成为极需要解决的毫米波通信关键技术。

随着毫米波技术的逐渐商用，能够支持更高频率的5G毫米波通信原型验证和开发平台需求越来越迫切。针对毫米波的科研和创新，威视锐推出毫米波开发验证整体解决方案。此方案大大降低了毫米波仪器的成本，并增加了毫米波应用的灵活性。同时，可以使用已有的软件开发资源和环境，方便用户快速升级到5G毫米波的应用上来，减少开发周期、降低开发成本。

➤ 二、方案简介



如图1所示，一个完整的毫米波开发系统分为四个组成部分，分别是：

- 1. 算法处理单元（GhostRF Max）：实现上次通信协议或者复杂天线控制算法，基于x86+FPGA架构，可以二次开发；
- 2. 中频基带单元（Y750）：大带宽基带信号发射和接收单元，FPGA支持二次开发，实现中频信号与变频单元的对接；
- 3. 上下变频单元（UDBox）：提供上下变频器功能，将中频信号搬到毫米波频段（支持24~44GHz频段范围）
- 4. 波束成型单元（BBox）：实现毫米波信号的调幅和调相功能，控制相控阵天线的输出波束形状。当我们使用毫米波频段作为通讯频率时，信号在空口传播的衰减非常快，需要使用波束成型技术来增加信号强度。

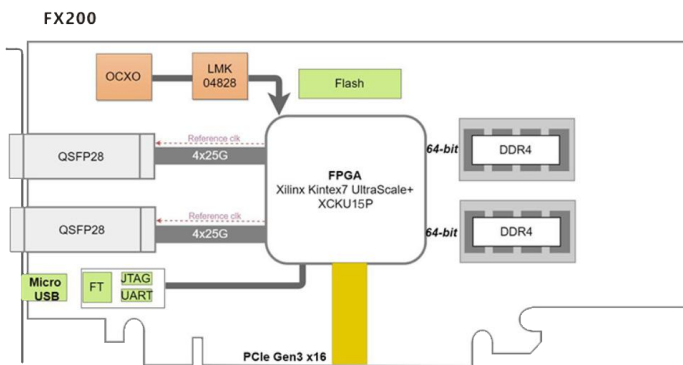
算法处理单元（GhostRF Max）功能



GhostRF Max指标规格:

主机性能	GhostRF Max
处理器	11代Intel酷睿i9-11900KB, 3.3GHz-5.0GHz主频, 8核心, 16线程
USB接口	2个前置USB3.1 Gen2, 6个后置USB3.1 Gen2
内存	16 GB DDR4-3200, 最高支持64GB
硬盘	2TB NVMe SSD + 512 NVMe SSD
雷电接口	2个雷电4接口
显示	HDMI2.0b
有线网口	1个2.5G网口
体积	35.7 cm × 18.9 cm × 12cm, 约8L

内置FPGA加速卡



FX200	
时钟同步	高精度时钟同步
FPGA	Xilinx KU15P
PCIe	PCIe3.0x16
内存	2x DDR4 4GB 2600MHz 64-bit SDRAM
光口	2x QSFP+ 100G兼容40G

中频基带单元（Y750）功能

毫米波的基带信号带宽需求很高，通常要400MHz或800MHz甚至更高。目前市面上现有的软件无线电产品实时带宽通常在400MHz以下，无法满足毫米波超大带宽的需求。针对毫米波需求，威视锐推出了带宽高达2GHz的YunSDR Y750产品，专为大带宽毫米波应用量身定制。

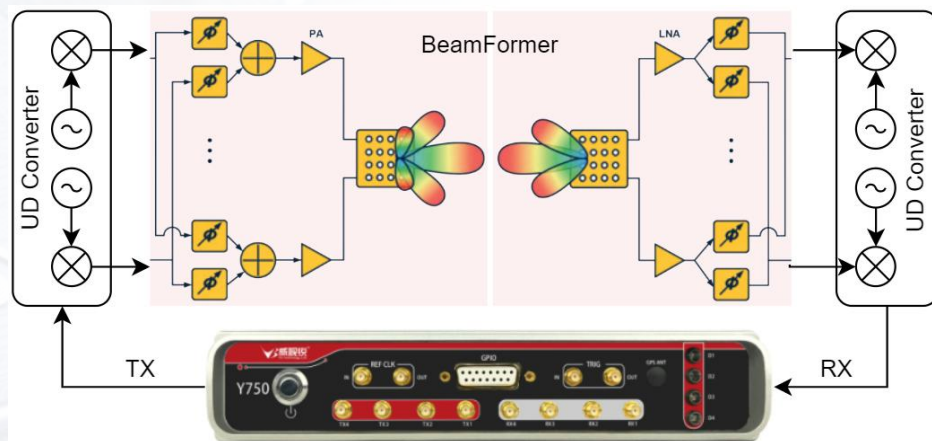


图1：面向毫米波应用的中频基带单元YunSDR Y750

图2为YunSDR 750系统框图，YunSDR 750通过40G/100G光口与PC端连接，实现数字信号的数据传输和指令控制。Y750基于Xilinx 第三代RFSoc系列SoC，采用射频直接采样结构，具备四个独立的发射器和接收器通道，具备大带宽和大规模运算处理能力，FPGA的PL端外接8GB DDR4内存，PS端外接4GB DDR4内存，可满足大容量存储和缓存需求。系统内置射频前端模块，可实现增益控制。同时，系统内集成GPS模块和时钟处理模块，采用19.2 MHz恒温晶体振荡器(OCXO)作为参考时钟，提高了频率精度和同步稳定性。

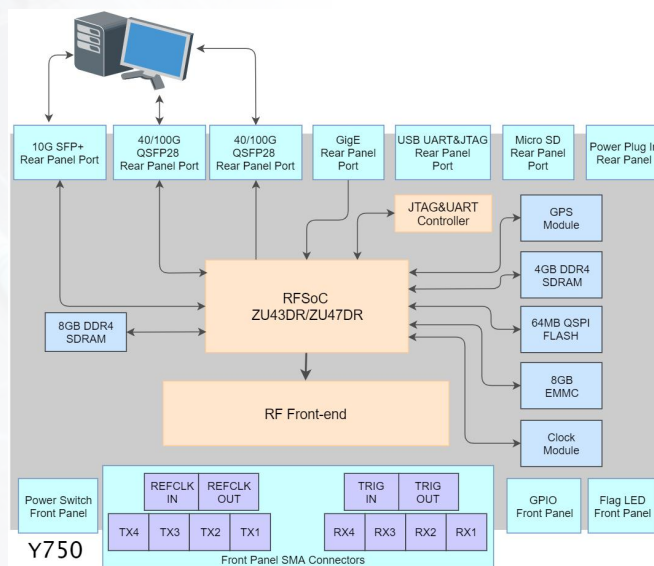


图 2 YunSDR 750系统框图

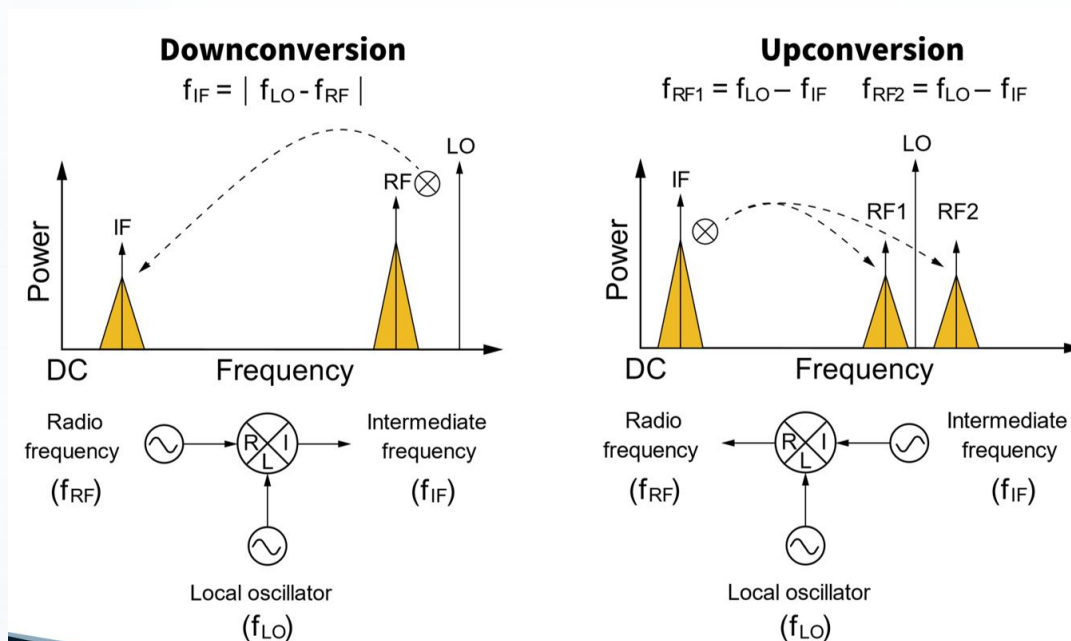
YunSDR 750通过SMA射频端口(RF port)与毫米波上下变频器的中频端口 相连。UDBox作为辅助的升降频收发机，将中频信号经升频到毫米波频段，再加上波束成形器BBox，最终组成完整的毫米波硬件架构系统。

Y750指标规格：

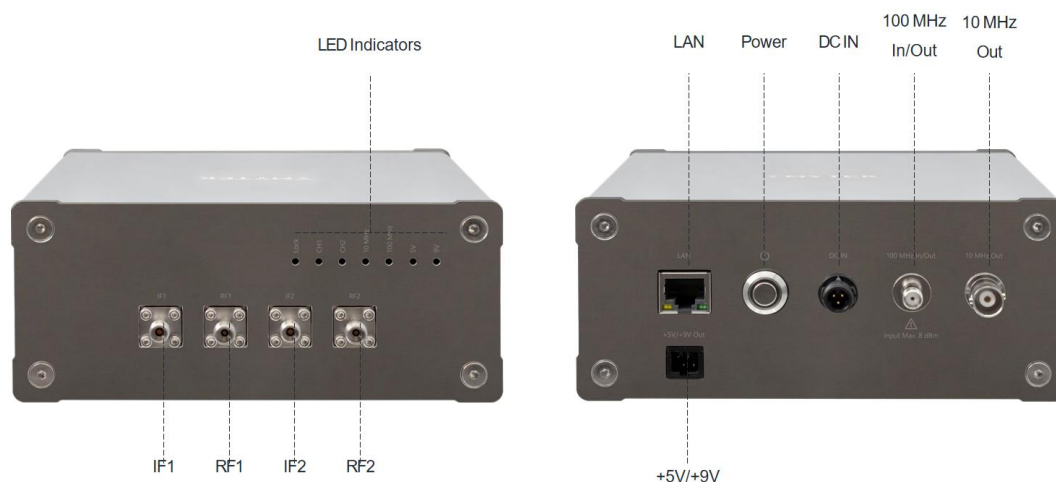
订货型号	Y750
频段范围	DC~6GHz
射频芯片	XILINX 第三代RFSoc
通道与带宽	4Tx & 4Rx @ DC~ 2GHz
基带芯片	XILINX 第三代RFSoc
硬件参数	930K逻辑单元，4272个DSP单元
	处理器端4GB DDR4 SDRAM，逻辑端4GB DDR4
	8GB TF Card，32MB QSPI Flash*2，4GB eMMC Flash
	支持M.2 SSD接口×1
	千兆以太网，USB UART+JTAG，USB3.0 OTG
	板载GPS模块支持（GPSDO）
	2 × QSFP+ 100G光纤接口，兼容40G模式
	独立供电接口（12V DC）

上下变频单元（UDBox）功能

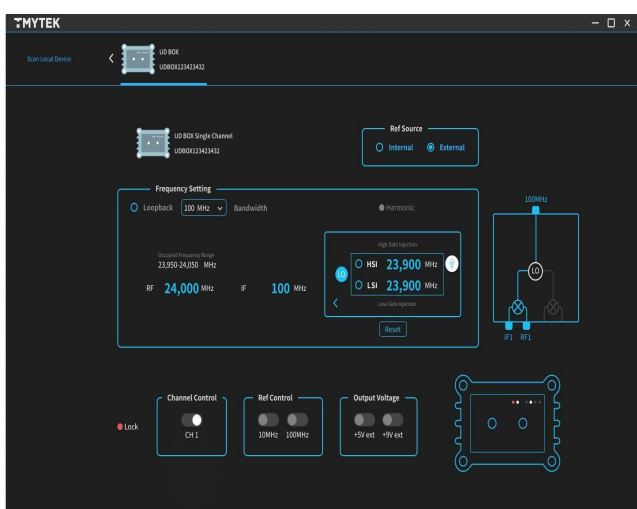
上下变频器的工作原理如下图所示，将中频信号搬移到毫米波频段或者从毫米波频段搬移到中频频段。



设备个功能接口如下图所示：



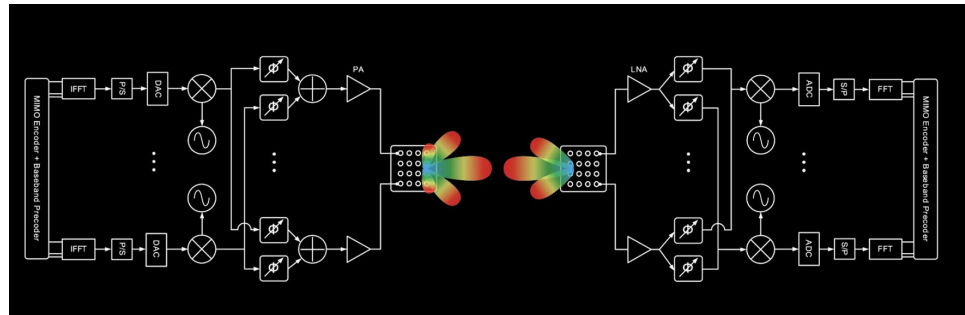
指标规格：



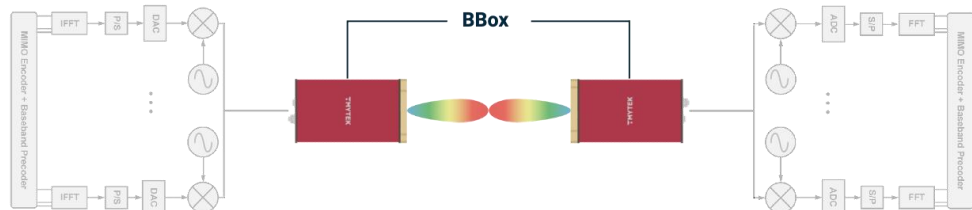
- 中频: 0.01 to 14 GHz
- 可调LO本振范围: 24 to 44 GHz
- 转换损耗: 12 dB (typical)
- 集成了内部本振源头
- 同一个设备里面集成了上变频和下变频功能
- 支持5G FR2全部频段
- 支持软件配置, 提供配置软件

波束成型单元 (BBox) 功能

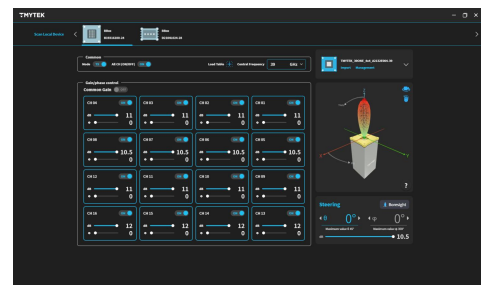
传统的毫米波开发平台通常采用离散器件搭建起来，需要阵列天线，功放，低噪放，移相器组件，还需要设计电路板组装起来，同时设计相应的驱动软件来支持上层开发吗，如下图所示。



BBox 提供了 ready-to-use 的5G NR 波束成型设备，支持灵活设计，可选独立的有源或者无源天线，每个射频通道的增益和相位可以独立控制，软件接口提供二次开发能力。



指标规格：

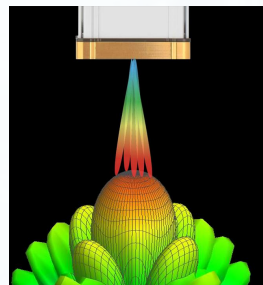


- 提供5G波束赋型相控阵天线功能
- 8x8天线面阵
- 模块型号：26.5 to 29.5GHz
- 提供16通道的相位和幅度调制功能
- 支持PC通过RJ-45进行软件控制

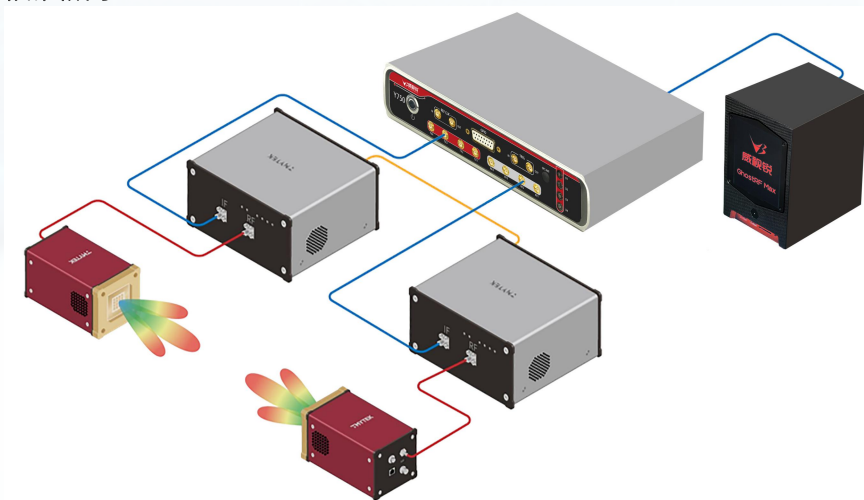
➤ 三、系统应用案例

波束成型单元 (BBox) 功能

误差向量幅度 (EVM) 是量化无线电收发器性能的重要测量指标。理论分析中, 由理想发射器发送接收器接收的信号点都会落在星座图的理想位置。然而, 实际测试环境中的各种因素, 包括信号杂散、失真、谐波和时钟相位杂散都可能导致实际信号点偏离理想位置。EVM是衡量信号偏离理想位置的重要指标。为了验证毫米波系统的性能品质, 我们使用EVM作为所关注的主要性能指标来进行测试。



系统连接示意图如图所示:

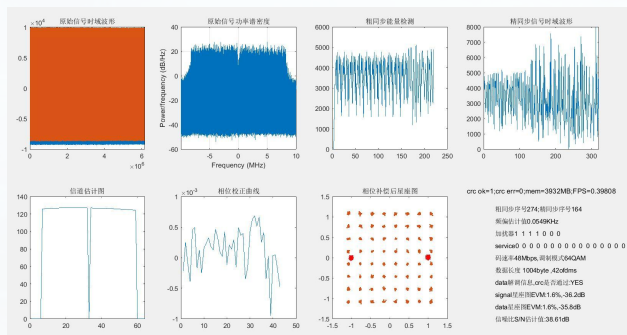


毫米波平台设备连接示意图

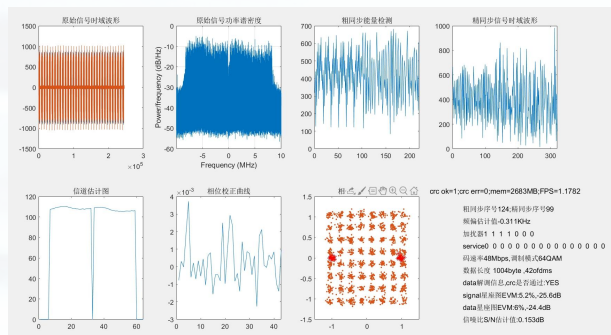
测试实例中使用Matlab对系统进行控制。Sub6G频率设置为2GHz, 毫米波频段频率设置为28GHz, Matlab控制发送100MHz/200MHz/400MHz带宽的信号, 对接收到的信号进行解调, 计算EVM值, 并测试BBox不同波束方向下的EVM值。

在初始状态下, 将发射器和接收器之间的夹角定为0度, BBox的GUI配置界面中偏移角度也设置为0度, 测试结果如下图所示。

手动转动发射端天线的BBox方向, 会发现信号强度变弱, EVM测量值也变差, 这是因为发送端的能量不指向接收端。因此, 我们可以将发射端和接收端天线正对, 使用波束成形器改变发射端的发射角度, 测试信号强度和EVM值。修改发射角度后, 解调EVM如下图所示。



BBox 0度方向EVM测试结果



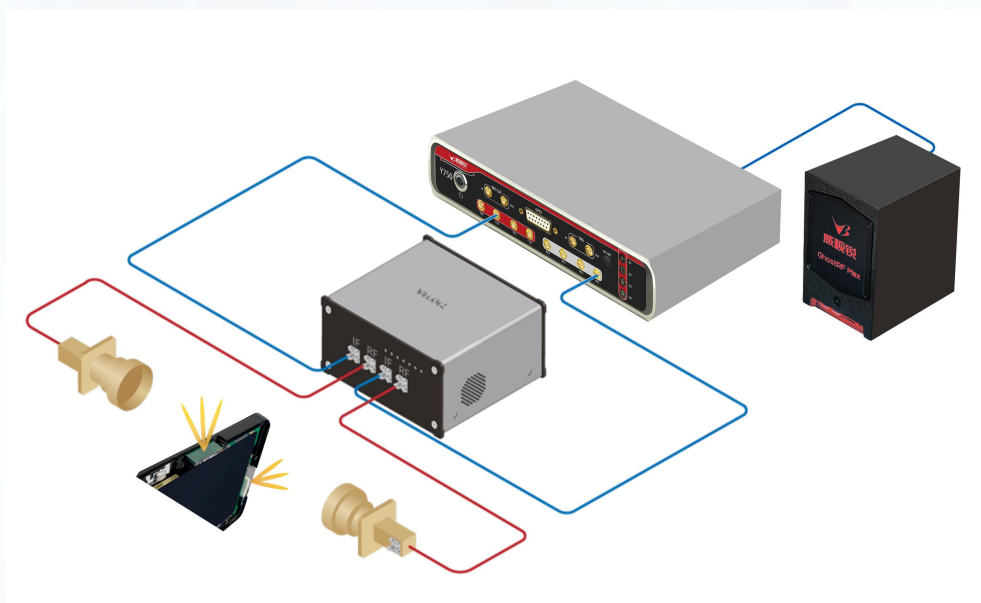
调整BBox波束方向后EVM测试结果

通过此应用实例的演示，验证了毫米波方案的可行性，从而为在毫米波方面的其它应用提供了参考基础，为后续在波束管理、波束成形算法、信道检测等方面提供了参考保证。

5G毫米波OTA测试平台

5G NR毫米波OTA测试平台具有5G NSA /SA的网络环境系统仿真功能，支持3GPP R15协议版本及后续版本演进，能够对5G终端和芯片进行协议一致性测试、SIM卡接口一致性测试、数据性能吞吐量测试，可广泛应用于运营商认证机构、工信部入网测试、芯片和终端研发测试环节。目前越来越多的5G终端芯片和模组开始支持毫米波频段，如高通等，因此低成本的毫米波5G OTA测试需求迫切。

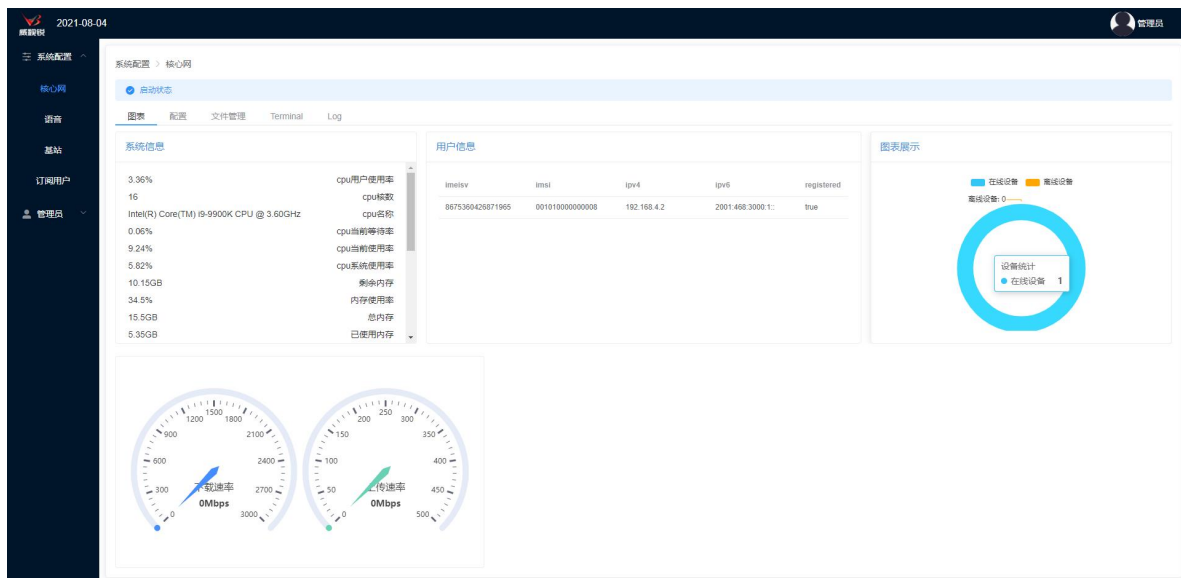
系统连接示意图如图所示，其中GhostRF Max主机上运行5G毫米波基站软件，前端通过喇叭口天线来实现对待测手机的OTA测试。



威视锐科技提供5G NR FR2协议栈软件，可以通过Web页面进行控制。

基于Web的跨平台配置管理软件

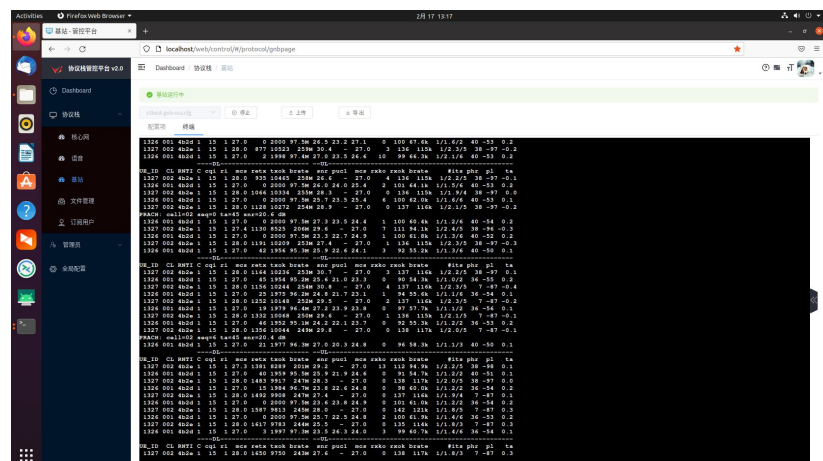
- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| 1、小区参数图形化配置 | 2、物理层参数图形化配置 |
| 3、基于配置文件的全局参数配置 | 4、基于测试场景的用例定义及导入功能 |
| 5、基于演示场景的预定义用例 | 6、基站核心网启停功能、运行监控功能 |
| 7、小区状态监控功能 | 8、订阅用户数据库增删查改功能 |
| 9、基站核心网命令终端远程交互功能 | 10、基站核心网运行日志监控 |
| 11、基站管理多用户控制功能，允许多个用户登录配置管理系统 | |



系统建立连接之后，可以在手机端进行相应的测试。



在NSA模式下，采用28GHz频段单天线模式下，可实现2.5~3bit/s/Hz左右的频谱效率。



通过此应用实例的演示，验证了5G毫米波OTA测试方案的可行性，从而为低成本的5G毫米波OTA测试提供了新的选择。