

Ceyear Live | 科技测量周

5G/6G通信测试发展趋势及解决方案

演讲人：徐兰天

CETC 中电科思仪科技股份有限公司

一 5G通信发展及现状

二 5G通信测试需求与痛点

三 5G通信测试仪器与解决方案

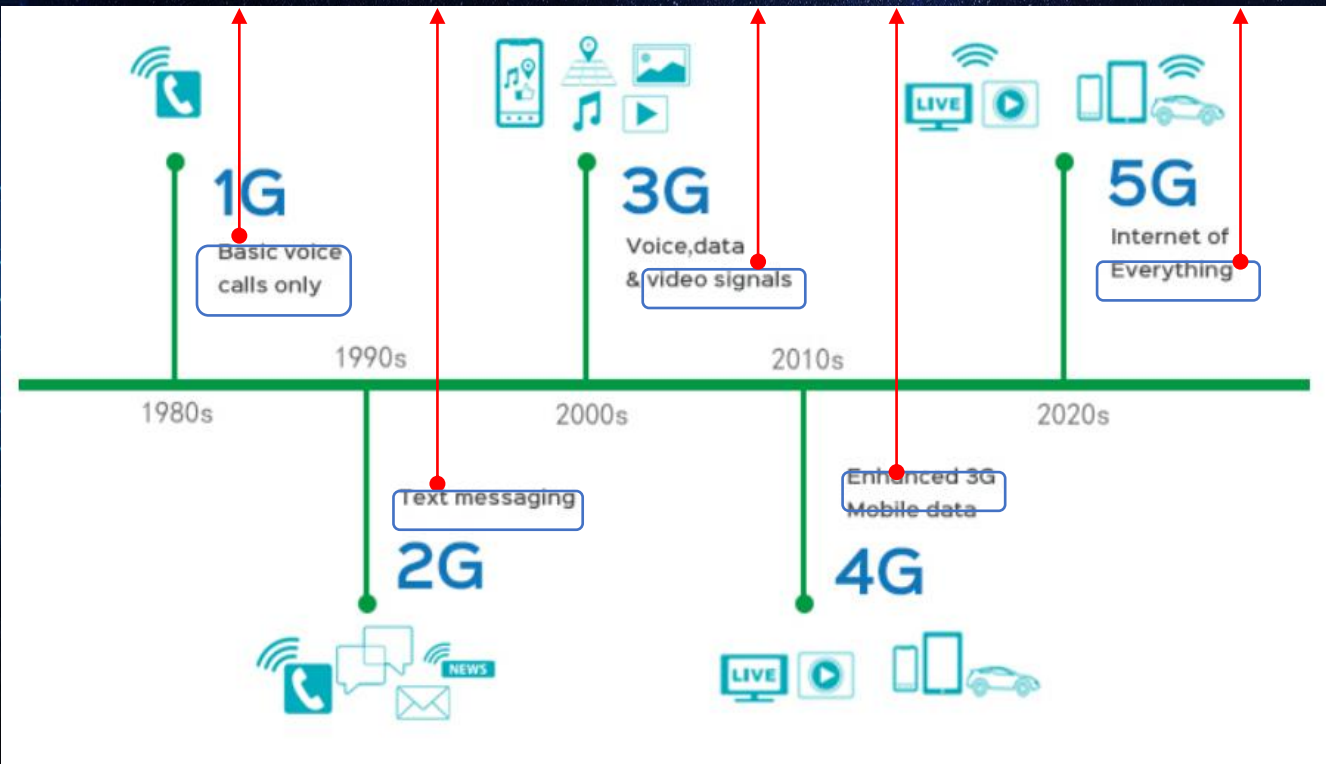
四 B5G/6G与下一代通信展望

第一部分

5G通信发展及现状

移动通信发展历程

1G动起来、2G用起来、3G看起来、4G快起来、5G联起来



5G通信性能指标

体验速率:0.1-1Gbps

连接密度: $10^6/\text{km}^2$

时延:1-10ms

流量密度:10-100Tbps

峰值速率:10-100Gbps

移动性:500+km/h

频谱效率:提升5-15倍

成本效率:提升100倍+

能源效率:提升100倍+

5G是以多种关键技术来共同定义的

全球5G通信频谱规划

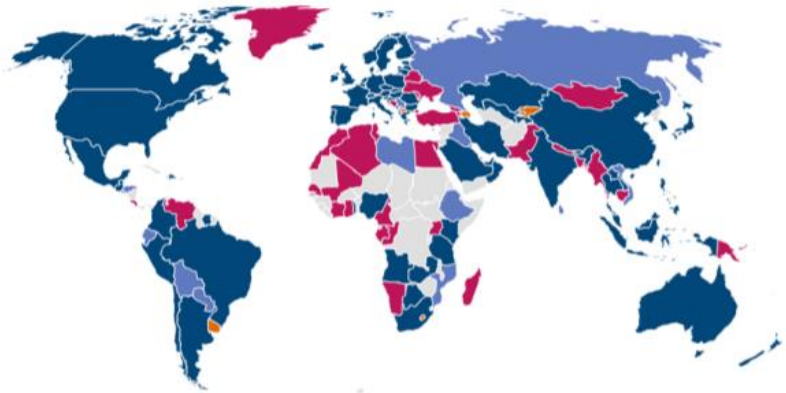
国家	频段			运营商
	sub 1GHz	sub 6GHz	above 6GHz	
中国	703-798MHz	2.6GHz 3.3-3.6GHz 4.8-4.99GHz	27.9-29.5GHz	中国移动、中国电信、中国联通等
美国	600MHz	2.5GHz 3.45-3.55GHz 3.55-3.7GHz 3.7-4.2GHz 5.9-7.1GHz	24.25-24.45GHz 24.75-25.25GHz 27.5-28.35GHz 37GHz;39GHz;47GHz	Sprint
				AT&T
				T-Mobile
				Verizon
韩国	900MHz	3.42-3.7GHz	26.5-28.9GHz	SK Telecom
				KT
				LG U+
日本	700MHz	3.6-4.1GHz 4.4-4.6GHz	27-28.2GHz 29.1-29.5GHz	NTT DoCoMo
				软银
德国	700MHz	1.92-1.98GHz 2.11-2.17GHz 3.4-3.7GHz	27.8-28.4GHz 28.9-29.4GHz	德国电信
				Telefonica(O2)
英国	700MHz	3.41-3.6GHz 3.68-3.8GHz 3.8-4.2GHz 专有频段	24.25-26.6GHz (室内)	EE/BT
				Vodafone
				O2

全球5G网络发展情况

截至 2023 年Q1，全球已有超过 137 个国家和地区的监管机构宣布或计划进行 5G 频谱拍卖/分配，并有超过 97 个国家和地区的监管机构已完成部分或全部 5G 频谱拍卖/分配，已有 66 个国家与地区完成 sub 1 GHz 频段频谱的拍卖/分配，83 个国家与地区完成 1-6GHz 频段频谱拍卖/分配，29 个国家与地区完成毫米波频谱的拍卖/分配。

Operator investment 5G status — most advanced status per country or territory

- 5G deployed in network, services launched
- Deploying/deployed, precommercial
- Planning/evaluating/testing/trialling
- 5G deployed in network, soft launch



97国家和地区的监管机构已完成5G重点频段频谱拍卖/分配，包括：

- 700MHz
- 3400-3800MHz
- 24-29.5GHz

资料来源：GSA、TDIA，2023年4月

5G通信产业链布局

基站

5G宏基站 (Sub 6GHz)

5G微基站 (毫米波)

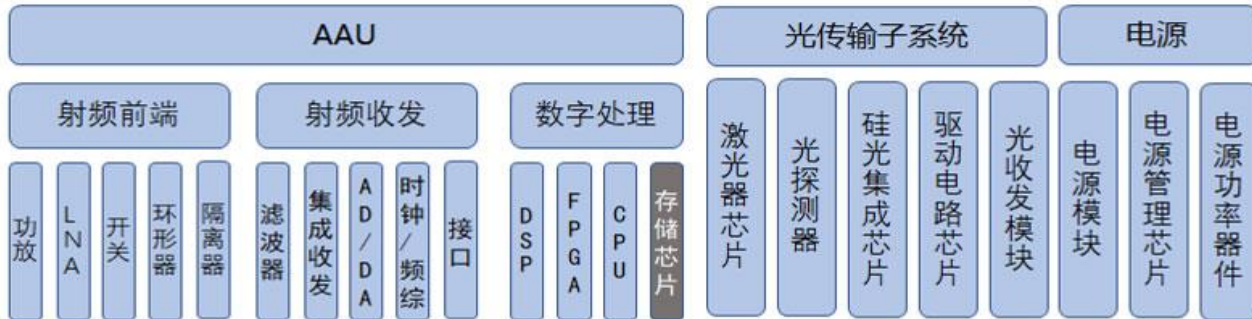
RCC无线云化中心

RRS无线射频子系统

基带SOC

毫米波AAU

物理层信号处理 DSP
协议栈处理
高速串行总线传输



滤波器 环形器 隔离器
功放 LNA 开关芯片
多通道收发芯片

主流供应商

主流供应商

主流供应商

主流供应商

主流供应商

主流供应商

NXP
TI
CAVIUM
XILINX
ALTERA

NXP
Ampleon
Qorvo
Skyworks
Macom
ADI
Peregrine

ADI
Broadcom
TI
Murata
MAXIM
紫光同创

TI
CEVA
Xilinx
Altera
Lattice
Intel
ARM

13
14
26
32
38
55
58
声光电

Macom
三菱
光迅
GCS
Luxtera
Broadcom
Semitech

8
13
23
声光电
嘉纳海威

VICOR
SYNGOR
华为
中兴

43
声光电

TI
NXP
Qualcomm

Murata
ADI
Qorvo
Skyworks
Broadcom
Infineon

13
43
声光电

5G通信产业链布局

终端

射频前端

基带芯片

SUB 6GHz

26GHz/39GHz

PA/LNA/开关

滤波器/双工器

毫米波多通道收发芯片

主流供应商

主流供应商

主流供应商

主流供应商

Skyworks
BrQorvoadcom
高通、锐迪科、
唯捷创芯、汉天下、
卓胜微

Muruta
Broadcom
Qorvo
好达电子
诺思

高通
ADI

高通
联发科
苹果
三星
华为*
展锐

5G通信产业链布局

网络运营和网规网优

网络运营

网规网优

主流运营商

主流厂商

中国移动
中国电信
中国联通
中国广电
中国铁塔
AT&T
沃达丰
NTT
Orange
法国电信

中移院
中讯院
中通服
中电科通信子集团

第二部分

5G通信测试需求与痛点

5G通信测试新需求

- 用户体验速率：0.1~1Gbps
- 流量密度：Tens of Tbps
- 连接密度：1百万/km²
- 端到端时延：毫秒级
- 移动性：500+km/h
- 峰值速率：Tens of Gbps

更高的频率

更大的带宽

更纯的频谱

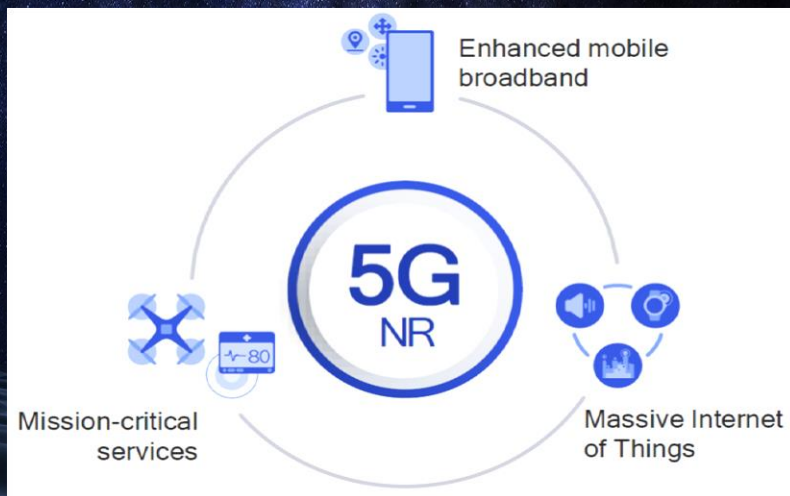
更高的灵敏度

更高阶的调制

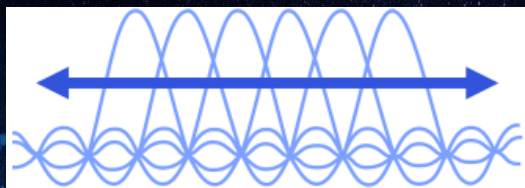
更准确的解调

主要测试场景

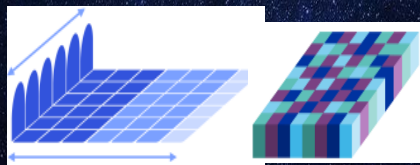
1. 5G研发测试
2. 5G产线测试
3. 5G多模芯片与射频器部件测试
4. 外场测试



5G通信测试新挑战



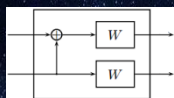
灵活子载波间隔配置技术



动态符号上下行时隙技术



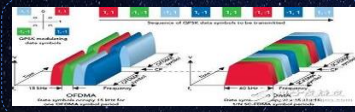
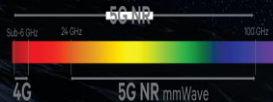
高效ME-LDPC编码技术



更先进的信道编码



高频段通信技术



大带宽OFDM

挑战

1. 5G NR技术增加前端射频电路设计复杂度、大带宽幅频、相频硬件开销。
2. NR新技术和多种波形、编解码融合设计，增加了基带算法资源与效率平衡的难度。
3. NR高速采样、高速吞吐率处理要求通道、基带处理的复杂度。

5G通信测试需求与痛点

Ceyear 思仪

大速率

1Gbps

大带宽

Up to 1.2GHz

多制式

5G
234G
WIFI
BT
GPS

多天线

8Tx/8Rx
16Tx/16Rx

多
DUT

Up to 8

高精度

功率<0.6dB
EVM<1%

高效率

校准: 1000pps
综测: 1.2-1.4s/DUT

高可靠

指标可靠: CPK: 1.4
运行可靠: 24h/d
测量能力: xKHz

低成本

仪表成本
测试成本
维护成本

需求痛点对测试仪器的挑战

测试仪器技术突破

平台性能提升

信号发生与接收方案

大带宽设计方案

功率准确度

功率稳定度

低相位噪声

测试速度提升

产线校准与综测技术需求

影响测试时间因素

物理层与协议层

基带处理架构复杂

信号估计与均衡

测量算法设计

多通道测试

多通道测试难点

通道一致性设计

温度稳定性测试

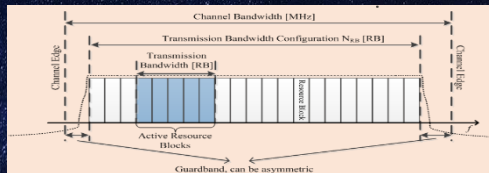
多通道触发同步

需求痛点对测试仪器的挑战 (一)

平台性能：大宽带高精度幅相、功率补偿技术

难点：

- 大带宽对通道放大器、混频器、滤波器要求提高
- 大带宽幅相补偿复杂度高，FPGA器件要求高
- 功率准确度要求高，数据量呈指数级增加



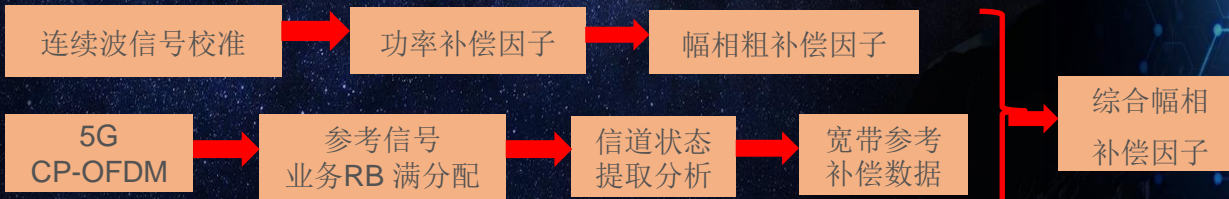
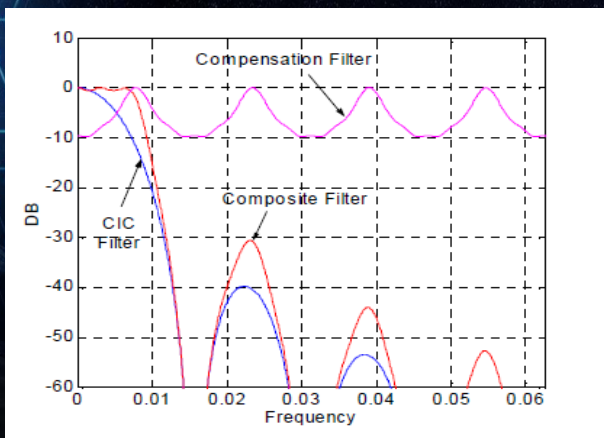
5G NR: Maximum transmission bandwidth configuration N_{RB}

SCS (kHz)	5MHz	10MHz	15MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50MHz	60 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
15	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
30	11	24	38	51	65	78	106	133	162	217	245	273
60	N/A	11	18	24	31	38	51	65	79	107	121	135

WIFI带宽

20MHz	40MHz	80MHz	80MHz+80MHz	160MHz
-------	-------	-------	-------------	--------

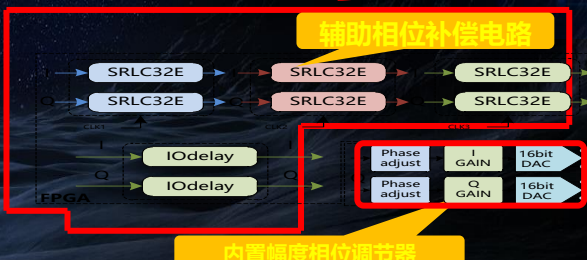
宽带幅相补偿，不仅要实现宽带频响的平坦，更要符合传输信号的特征，实现最优的收发补偿。



$$r(n) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2n)) + j \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2n+1))$$

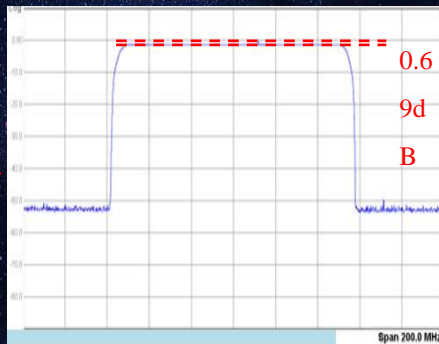
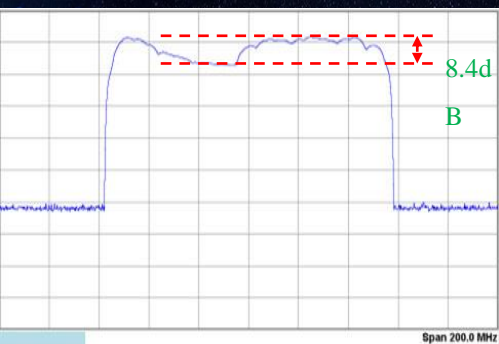
$$C_{int} = (2^{17} (N_{\text{sym}}^{\text{slot}} N_{\text{sf}}^{\text{A}} + l + 1) (2N_{\text{ID}}^{\text{SCD}} + 1) + 2N_{\text{ID}}^{\text{SCD}} + n_{\text{SCD}}) \bmod 2^{31}$$

$$H(X) = h(n)/R(X)$$

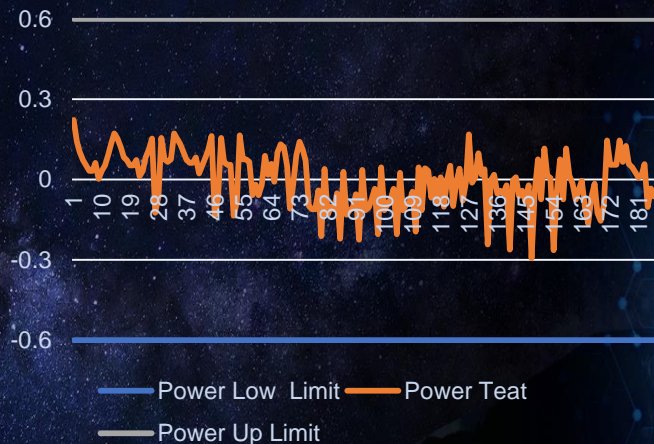


需求痛点的技术突破 (一)

平台性能：大宽带高精度幅相、功率补偿技术



Power Test



5G宽带信道频域特性信号生成信道估计特征提取

基于闭环反馈迭代+匹配滤波+FPGA幅度/相位/电平优化设计，实现高精度宽带IQ调制、解调

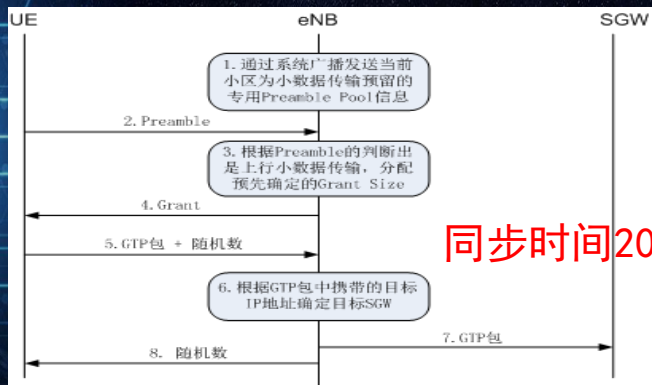
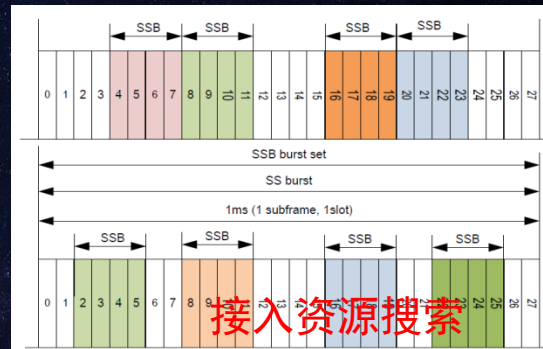
动态温度调节+高密度温补校准

	未补偿	普通补偿	高精度补偿
平坦度	8.4dB	2.7dB	0.69dB
EVM	4.35%	2.30%	0.31%
RSL BER	9.50%	4.70%	0%

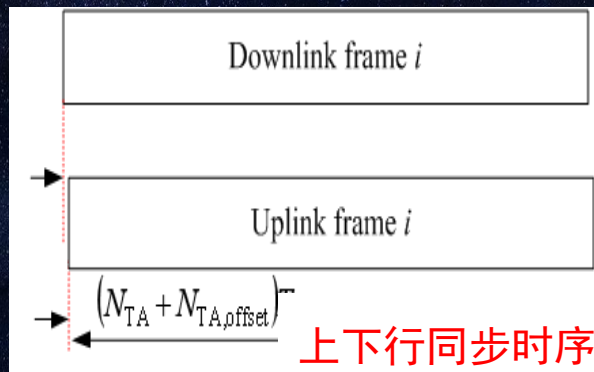
需求痛点的技术突破 (二)

平台性能：精准同步技术

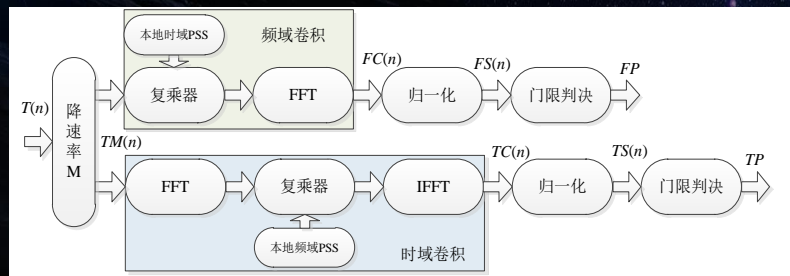
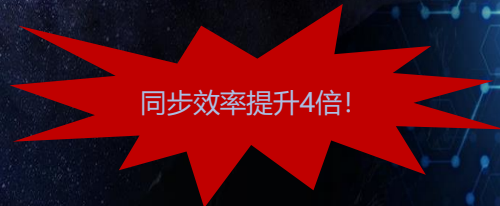
- 正常的同步方式、接入方法大大拉长了同步的周期
- 下行预同步信号的信号高速触发快速测试



同步时间20ms

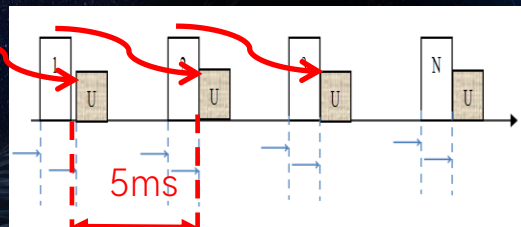


上下行同步时序



简化同步信令：(PSS/SSS主辅同步信号和PBCH块)的小区信号

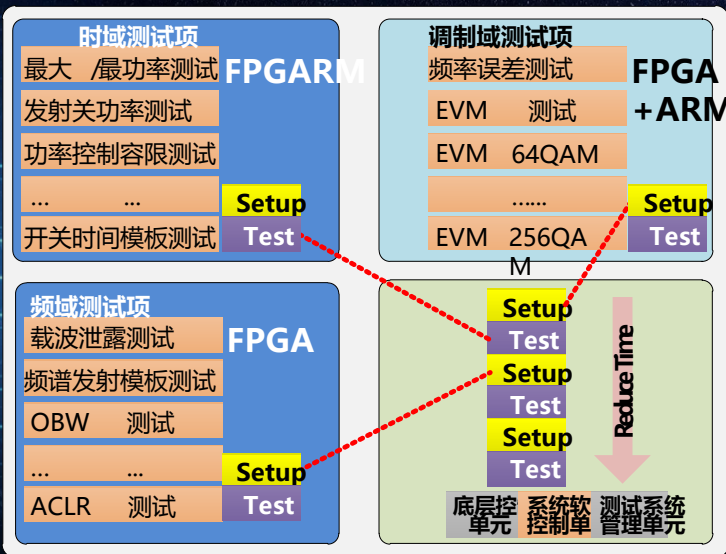
联合控制DUT USB/COM接口，实现一次触发，快速对齐



下行预同步高速触发

需求痛点的技术突破 (三)

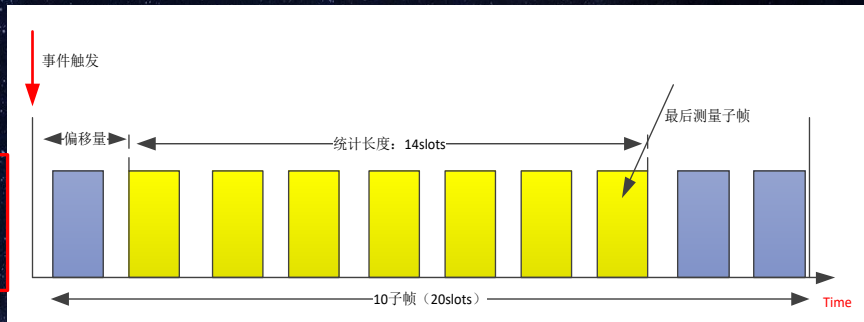
测试效率：非信令LIST模式高速测试



精准时间触发，根据校准预置数据，设置提前量TA

高效硬件切换水平

高效准确的信号测量



上下行List多点预配置 (响应时间 < 0.3 ms)
精准定时 + 序列化执行

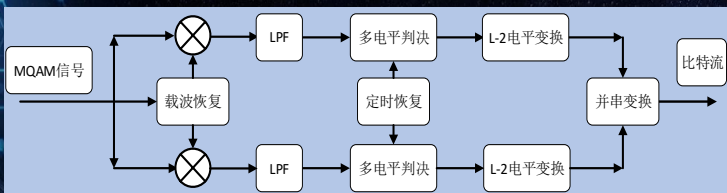
实际校准：达到1000+校准点/秒

高效LIST测试方式使得测试效率提升5倍+

需求痛点的技术突破 (四)

物理层测量与处理：高阶调制高效检测，高精度测量对标

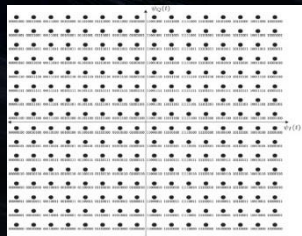
- ✓ 5G网络要求更高的频谱效率和数据传输速率
- ✓ 调制阶数越高，传输速率和频带利用率两方面的优势越明显
- ✓ QAM调制的误码性能会随着调制阶数的增大而受到影响



高阶QAM信号解调框图

EVM 低至：0.31%，完全对标甚至超越进口仪表！

高阶QAM星座图比特映射



1. 子载波k的接收信号与发送信号： $Y(k) = H(k)X(k) + W(k)$

2. ZF均衡：

$$\begin{aligned} Z(k) &= Y(k) / H(k) \\ &= X(k) + W(k) / H(k) \\ &= X(k) + V(k) \end{aligned}$$

3. MMSE均衡：

$$G_{MMSE} = H^H \left(HH^H + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_s^2} I \right)^{-1} = H^H \left(HH^H + \frac{1}{SNR} I \right)^{-1}$$

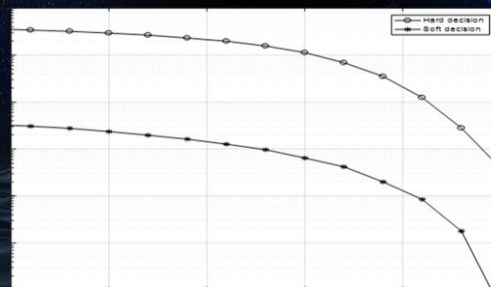
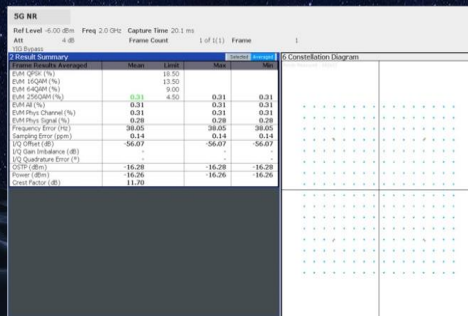
4. 均衡算法决策：

$$\begin{cases} ZF, & P - (-50) > 20 \\ MMSE, & \text{otherwise} \end{cases}$$

5. 解码判决：

$$LLR(c_i) = \ln \left(\frac{p(Z_r | c_i = 1)}{p(Z_r | c_i = 0)} \right)$$

第i位比特的软比特信息

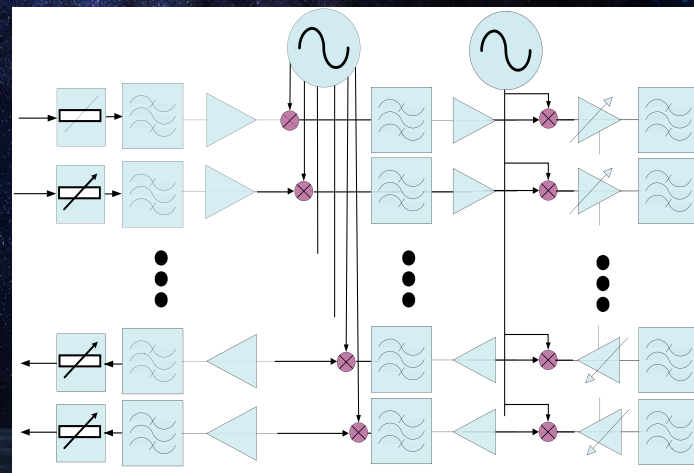
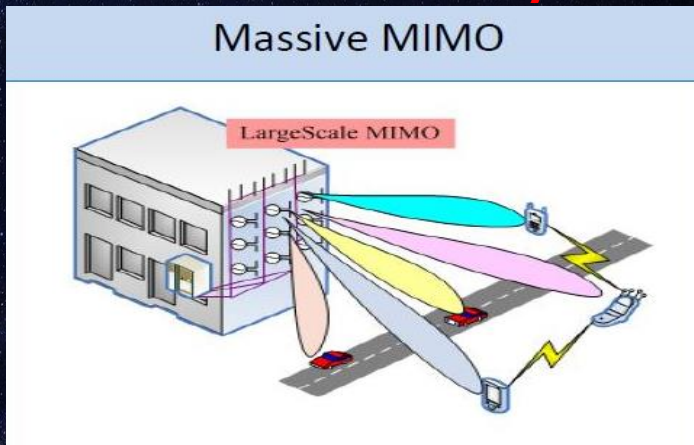
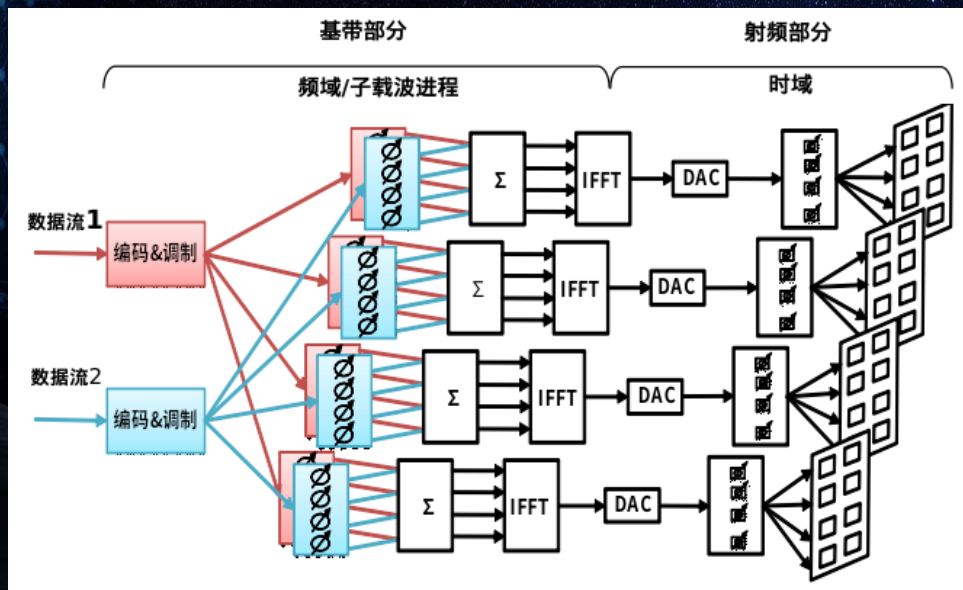


需求痛点的技术突破 (五)

多通道测试：Massive MIMO测试

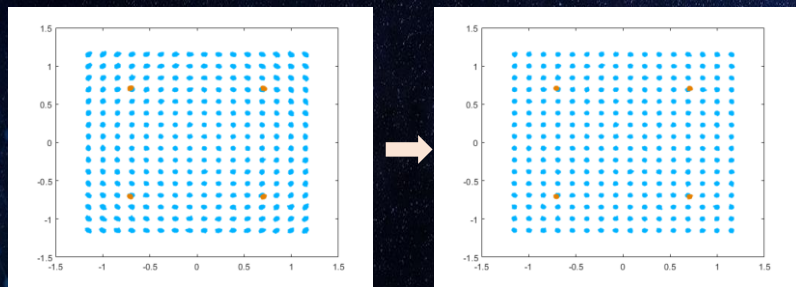
关键技术：

- 高度集成化设计，实现单表集成64通道，多表级联128、256通道；
- 多通道相位校准技术，实现 1° 以内相位误差，满足波束赋形测试需求；
- Tbps数据交换，满足Massive MIMO预编码的要求

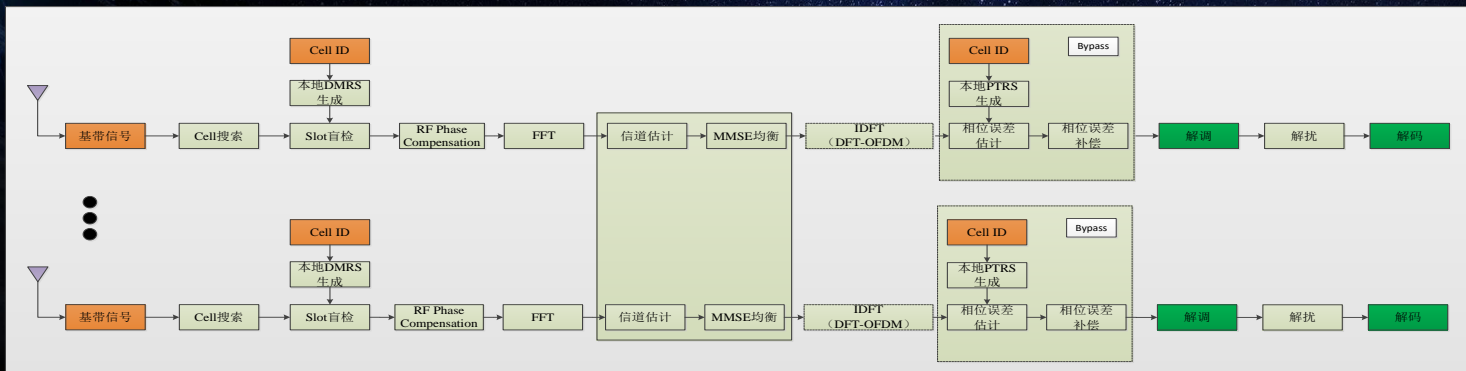


需求痛点的技术突破 (六)

物理层测量与处理：基于时频域滑动窗均值滤波的信道估计技术



$$\hat{H}_{LS} = X^{-1}Y = \frac{Z(t, f)}{I(t, f)}$$
$$\hat{H}_{LS} = \frac{Z(t, f)}{I(t, f)} = a(t, f)e^{j\varphi(t, f)}$$
$$a(f) = \frac{\sum_{i=1}^N a(t_i, f)}{N}, \quad \varphi(f) = \frac{\sum_{i=1}^N \varphi(t_i, f)}{N}$$

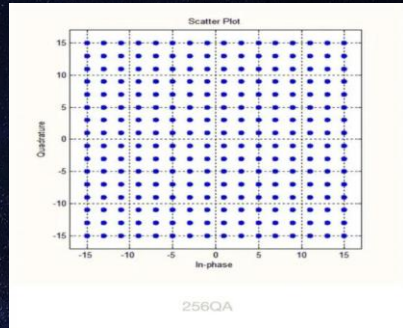
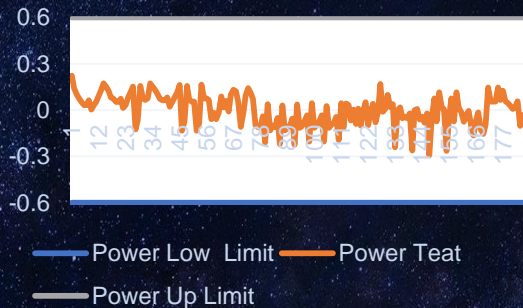


- ✓ 5G要求更高的频谱效率和数据传输速率
- ✓ 调制阶数越高，传输速率和频带利用率两方面的优势越明显

需求痛点的技术突破

Ceyear 思仪

Power Test



平台性能提升

多通道测试

测试速度提升

物理层与协议层

优异的方案
实际+先进
的加工工艺



通信协议技术
积累和人才
储备

超高性能宽
带处理平台

多通道一致
性处理

高速实时物理
层处理

多测试协调处
理及集成

整体测试水平，特别在快、准、稳等方面，实现从国际由跟跑到并跑状态；部分技术指标方面，达到国际先进。

第三部分

5G/6G通信测试仪器与解决方案

5G通信测试仪器产品体系

↓
VSA/VSA 矢量信号分析/模拟软件

↓
多通道基站综合测试仪

↓
基站外场通信测试仪

↓
通信扫频仪

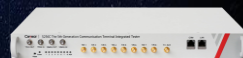
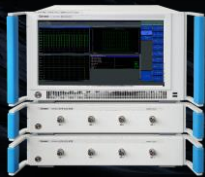
↓
通信路测仪

↓
物联网信号分析仪

↓
5G终端综合测试仪

↓
物联网终端综合测试仪

↓
mmW 5G终端综合测试仪

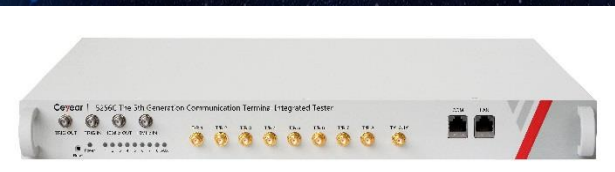


提供**功能灵活**的通信互联技术研究及基站、终端测试解决方案

5G测试仪器--终端测试

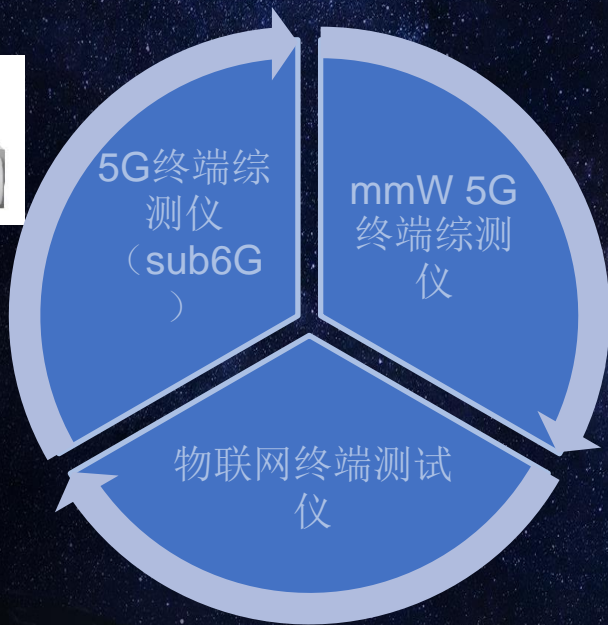
Ceyear 思仪

提供功能灵活的通信互联和物联终端测试解决方案



5G终端综合测试仪

- 70MHz-7.2GHz
- 带宽支持: 200MHz
- 5G NR、LTE、WCDMA、CDMA2000、GSM/EDGE、WIFI、Bluetooth信号发送与解调
- 支持List Mode方式多域并行测试, 可同时进行时域、频域、调制域测试



mmW 5G终端综合测试仪



- 24GHz-43.5GHz
- 带宽支持: 1.2Ghz
- 5G NR

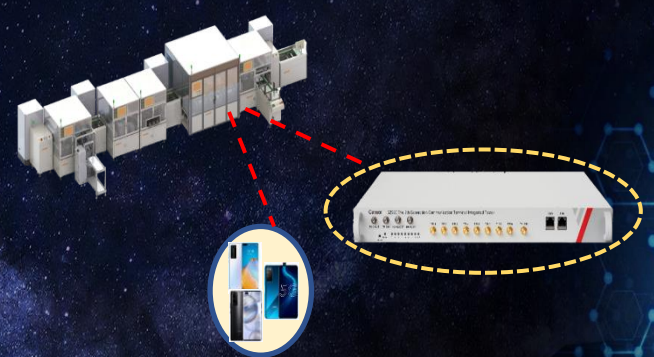
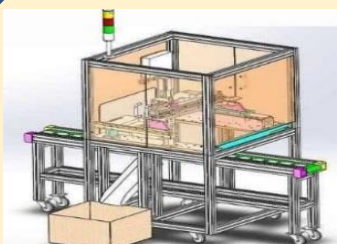
5G物联网综合测试仪



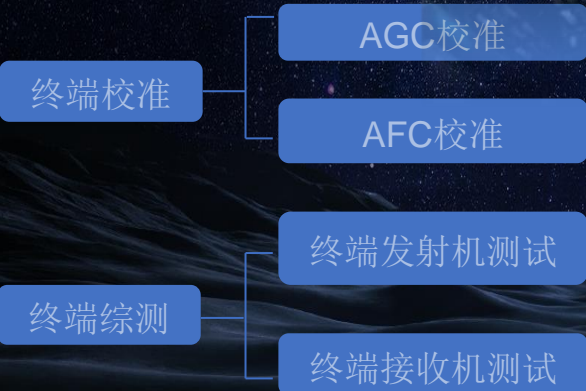
- 100MHz-6GHz
- 带宽支持: 100MHz
- NB_IoT、LTE-G

终端测试--产线测试

典型应用 Ceyear 思仪



终端测试



- 体积小，更加贴近待测件
- 核心算法及数据处理下沉，提高测试效率
- 8端口全双工设计，满足产线多台终端及多天线测试
- 多模多协议的支持，满足不同终端、不同工位测试需求
- 矢量信号解调分析技术，精确分析射频信号调制质量

终端测试--物联模组测试

典型应用

Ceyear 思仪

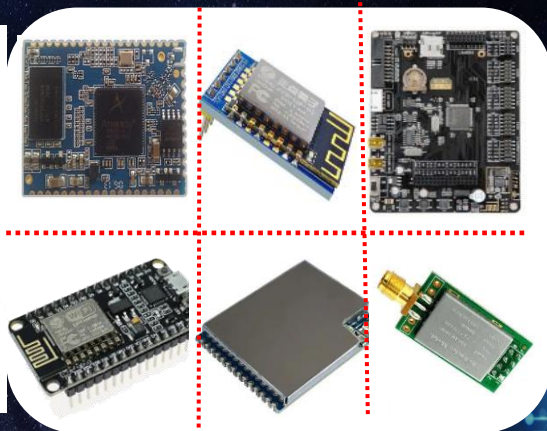
无线模组测试

WIFI模组

Bluetooth模组

GPS/BDS模组

Cat.1、NB_IoT模组



无线模组功能项覆盖

模组类型

版本覆盖

WIFI

WIFI: 802.11b/a/g/n/ac/ax

BT

BT:1.0/2.0/3.0/4.2/5.x

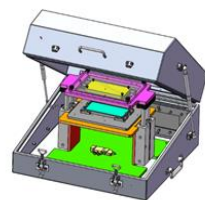
GPS/BDS

GNSS:L1/L2/B1/B2

Cat.1/NB-IoT

Cat.1: To BW 20MHz

NB-IoT: Release14

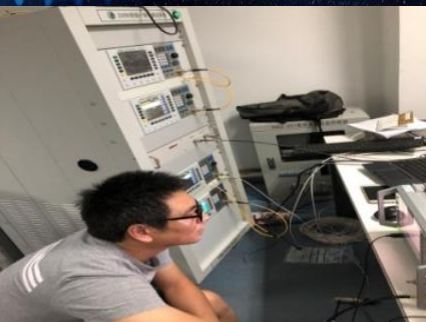


终端测试--垂直应用产业

典型应用

Ceyear 思仪

国网电科院等认证机构



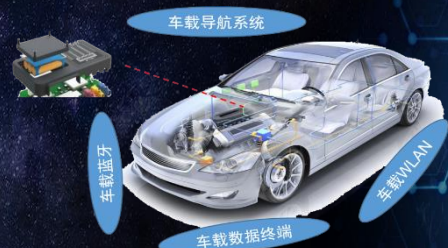
电力行业终端制造



华为、展锐等芯片终端产线



V2X车载设备测试



- 国内唯一通过国网电科院及HW认证的电力物联网测试系统，具备电力物联网终端产线测试及入网认证测试能力
- 完成HW及展锐通信芯片的适配，通过相应TMG认证
- 支持车联网V2X终端T_BOX测试测量

70s完成300多case综合测试

MMPT RF16.010_P2 -- Crane_LTECal_Smarter.tb

System Config Script RFTool GoldenBoard Help

100% Pass

NO.	Test Name	Low Limit	Result	High Limit	Status
1	TDLteCalibrationFail	-	-	-	Pass
2	LteRF CarrierLeakCal	-	-	-	Pass
3	TDLteRFAtcCal	-	-	-	Pass
4	TDLteRFAtcCal	-	-	-	Pass
5	TDLteRFAGCCal	-	-	-	Pass
6	TDLteCalibrationEnd	-	-	-	Pass
7	nvmm to RD: LteCalData_nvmm	-	-	-	Pass
8	nvmm to RD: Dcxo_Calibration_nvmm	-	-	-	Pass

ASR

Error Code: ---

Statistic: Pass: 9, Fail: 12, Yield: 42.9%

01:10

UE: CP, AP

Run

Fail Stop USB_COM 34 Engineer Legacy GSM Only

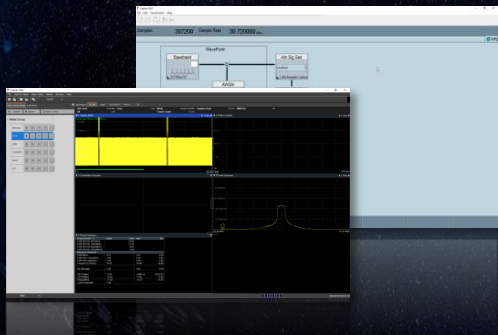
5G测试仪器--基站测试

Ceyear 思仪

提供性能卓越的通信基站整体解决方案

基站实验室研究:

Ceyear®VSG 信号模拟软/
Ceyear®VSA 信号分析软件

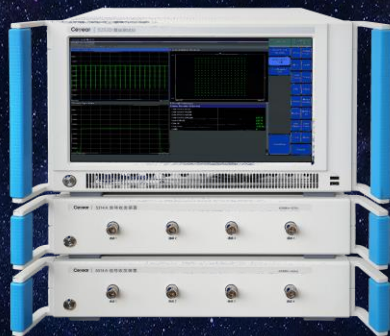


- 支持通信多模矢量信号发生与分析
- 5G NR
- 4G LTE
- 3G WCDMA
- 2G GSM

覆盖全部TM模式，覆盖全部调制方式的解调；
深入解析5G NR信号在时域、频域、调制域结构；
支持小区信息自动搜索（盲解）；
支持3GPP R16版本

基站产线测试:

5G 多通道基站综测仪



- 多通道并行5G基站测试仪表，能够满足5G基站射频性能测试需求,也可进行信号的仿真与分析
- 兼容LTE、WCDMA、GSM等4G/3G/2G基站测试
- 频段覆盖范围宽、调制带宽大、通道数量多
- 实现5G大带宽、多通道、帧结构等5G关键技术

基站外场测试:

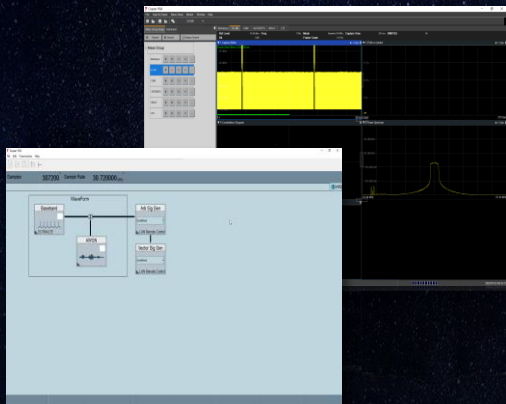
外场通信测试仪
扫频仪
通信路测仪



- 携带、部署方便：外场测试条件相对艰苦，对于仪器体积和部署都有要求。
- 完备的频率指标：覆盖目前运营商已使用频率。
- 快捷的信号分析：支持5G、LTE、GSM等在网信号格式分析。
- 良好的用户体验：人性化的操作逻辑，良好的界面交互。

基站测试--实验室研究

通信协议软件



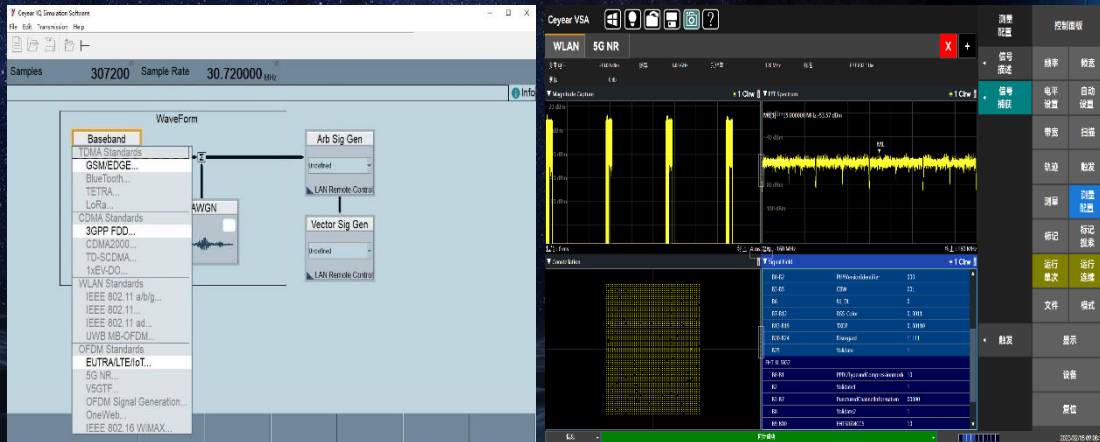
典型应用 Ceyear 思仪

Ceyear®VSA

- ◆ **一专多能、支持多种通信协议制式：**5G/4G/3G/2G/WIFI/BT/V2X/NB-IoT等
- ◆ **丰富全面的测量功能：**支持时域、频域和调制域测量，Power/EVM/ACLR等指标采集
- ◆ **良好的扩展应用能力：**离线、在线数据解析，适配国内外主流通信仪表

Ceyear®VSG

- 支持多种通信协议标准信号的发生；
- 支持多厂家信号发生器仪表和设备；
- 灵活的许可机制；
- 支持网口、USB等多种接口；



基站测试--产线测试

5G 多通道基站综测仪



典型应用 **Ceyear** 思仪

- FR1频段：400MHz-6GHz
- FR2频段：24.25-30GHz/37-43.5GHz
- 通道带宽：200MHz@FR1、400MHz@FR2
- 通道数：4 @FR1、2 @FR2，支持级联
- 基带传输率：80Gbps
- EVM: < 1% @FR1、< 3% @FR2

5G测试标准:

◆ 支持3GPP TS 38.104 V16

◆ 支持3GPP TS 38.141 V16

8路不同基带，多个通道可以同时
进行不同制式信号发射，可以有效满足
基站多天线测试需求！

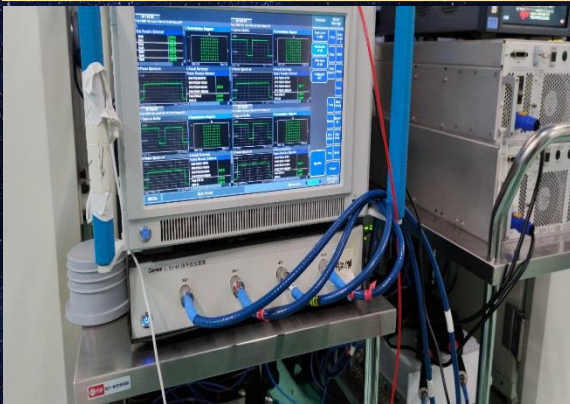


基站研发制造



- 所有TM模式的覆盖
- 所有测试功能的覆盖
- 多通道并行测试，并支持扩展
- 支持产线自动化测试，测试效率为同类仪表的3-4倍

创新中心等研究机构 等前沿实验室



- 更强的平台支持能力：单载波400MHz，满足前沿研究需求
- 更多的通道扩展能力：32通道
- 支持测试用例二次开发
- 更多场景的支持

国家无委等管理认证机构



- 5G基站测试完善的协议支持
- 所有TM模式的覆盖
- 所有测试功能的覆盖
- 多通道并行测试，并支持扩展

基站测试--外场测试

典型应用 Ceyear 思仪

为5G网络提供便携、高性能的看护与监测



外场通信测试仪



通信扫频仪



通信路测仪

主要功能:

- 覆盖测试,
- 干扰测试,
- 信道检测,
- 多径测试
- 层三解调
- MIMO测试
- 基站位置估计
- Beamforming 盲检

频率: 覆盖现网多有频段

制式: 支持5G NR、FDD-LTE、TDD-LTE、GSM

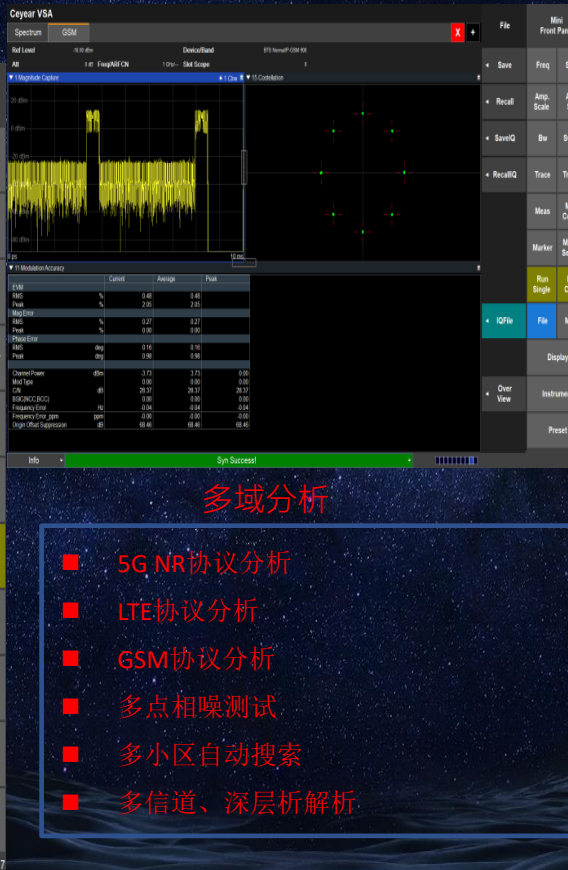
可广泛应用于网络勘察、规划、建设、优化等场合

基站测试--外场测试

丰富的协议分析功能

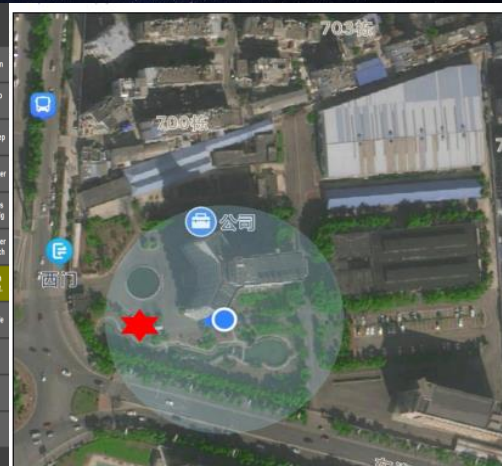


多小区自动搜索



多域分析

- 5G NR协议分析
- LTE协议分析
- GSM协议分析
- 多点相噪测试
- 多小区自动搜索
- 多信道、深层析解析



监测定位

- 干扰分析、无线信号测向定位、场强测试
- 便携性
- 室内/外模式
- 自动保存用户设置
- 快捷截图/保存数据
- 超长续航

第四部分

B5G与下一代6G通信展望

5G 标准演进特点

5G标准名称		R15	R16	R17	R18
阶段划分		5G基础标准	5G完整标准	5G增强标准	5.5G
冻结时间		2019年3月	2020年7月	2022年6月	预计2023年12月
侧重场景		eMBB和基础URLLC	eMBB增强和uRLLC能力完善	持续扩展	5G-A
技术特性	增强移动宽带	中低频 eMBB基础毫米波eMBB	毫米波 eMBB增强(传输和部署能力)	扩展频段: 中频、毫米波多天线能力持续提升初步拓展空天地覆盖	持续增强移动宽带: 提升频谱效率业务能力提升提升部署灵活性非地面通信增强
	低时延 高可靠	基础 uRLLC 承载	完善的 uRLLC能力支持时间敏感网络 基础车联网	大容量 uRLLC更丰富车联网场景	垂直行业精细化设计: 专用类型终端专有场景增强更灵活组网方案
	物联网	NB-IoT技术支持的mMTC	5G 核心网支持 NB-IoT 和 mMTC	中高速大连接物联网	
	网络基础能力	服务化架构基础设计服务化协议定义 网络切片, 边缘计算	直连通信(NR-V2X)、米级定位、5G广播网络基础能力增强网络智能化	亚米级定位多播广播5G与人工智能融合	新业务场景开发: 新业务网络要求AI增强网络性能支持各类 AI 应用
	安全	基本安全机制	安全架构演进	物联网安全	

2022年6月6日, 3GPP 5G R17标准正式宣布冻结, 标志着5G技术和标准进入成熟和稳定期。

预计将于2023年12月, 完成3GPP 5.5G R18 (5G-Advanced) 标准制定。标准演进方向已经逐步明确: 一是持续增强宽带能力; 二是面向垂直行业的精细化设计; 三是新业务场景开发。



中国有30+个城市开展5G相关示范应用探索

薄弱环节有待提升：基础技术、通用芯片、中高频关键元器件和测试仪器；
产业链整体需进一步完善：uRLLC和mMTC场景标准尚不完善；
垂直行业与5G结合不够深入：行业终端逐步成熟、尚无颠覆性5G应用与商业模式出现。

5G+车联网展望

- 我国是第一个制定汽车互联网国家战略的国家，在C-V2X部署中处于领先地位
- 在2020年2月：发改委发布“智能汽车创新发展战略”，国内开始大规模生产配备C-V2X技术的智能汽车。
- 2020年4月的上海车展：13家中国汽车制造商（包括：上汽，广汽，东风，长安，一汽，北汽，江淮，长城，东南，众泰，江铃，比亚迪和宇通）宣布将针对C-V2X进行整合
- 2025年：预计C-V2X将被应用在中国一半的新车中，也将开始5G NR-V2X技术验证测试

借助5G、边缘计算等信息通讯技术，提供超低时延、超高带宽、超大容量和更强壮可靠的网络，赋能智能交通和自动驾驶应用业态和产业生态。



6G发展综述---- 什么是6G?

智慧连接、深度连接、全息连接、泛在连接 ---- “一念天地，万物随心”

6G是由各种应用程序和支撑技术驱动的，在毫米波和THz频段上实现宽带、移动、可靠、低时延通信（MBRLLC）和移动性管理，完成三个“跨越”的创新型“空、天、地、海”一体化通信。

- 从以无线电为中心的系统设计（即3GPP）过渡到AI驱动的智能端到端3CLS协同设计；
- 从智能手机基站范式过渡到智能表面与人类嵌入式植入物通信的新时代；
- 6G的性能分析和优化从简单的平均处理转向细粒度分析，以满足QoPE需求。

网络接入方式	6G包含多样化的接入网，如移动蜂窝、卫星通信、无人机通信、水声通信、可见光通信等。
网络覆盖范围	跨地域、跨空域、跨海域的空、天、地、海一体化网络，实现真正意义上的全球无缝覆盖。
网络性能指标	传输速率、端到端时延、可靠性、连接数密度、频谱效率、网络能效等会有大的提升，满足各种垂直行业多样化的网络需求。
网络智能程度	网络和用户将作为统一整体，AI在赋能6G网络的同时，深入挖掘用户的智能需求，每个用户都将通过AI助理提升用户体验。
网络服务边界	从物理世界的人、机、物拓展至虚拟世界的“境”，通过物理和虚拟世界的连接，实现人、机、物、境的协作，满足人类精神和物质的全方位需求。

6G发展综述---- 国际标准化组织工作计划

2020年	ITU宣布启动面向2030年的6G研究工作
2022年	发布《未来技术趋势研究报告》
2023年	形成全球统一的6G技术愿景
	发布《未来技术愿景建议书》
	讨论6G候选频谱
2025年	进入3GPP国际标准制定、产品化以及商用阶段

6G发展综述---- 全球6G研究部署

美国	<p>ComSenTer研究中心和产业联盟开发太赫兹无线传输和感知应用技术，积极推动太赫兹通信和相关应用的产业化；</p>
	<p>美国国防部资助30多所大学合作共同组建了“太赫兹与感知融合技术研究中心”，开展6G技术研发；</p>
	<p>美国德克萨斯大学奥斯汀分校（UT Austin）与三星、英伟达、AT&T、高通等行业巨头合作，成立6G研究中心；</p>
	<p>美国科学基金会资助37个6G资助项目，针对下一代无线和移动通信、网络、感知和计算系统产生重大影响的领域，以期开发智能、弹性和可靠的下一代6G网络。</p>
韩国	<p>韩国通信与信息科学研究院组建了6G研究小组，研究6G应用场景与6G核心技术；</p>
	<p>韩国电信（KT）与首尔国立大学新媒体传播研究所（SNU）开展合作，研究6G通信和自主导航技术。</p>
	<p>LG与韩国先进科学技术研究院KAIST合作成立6G研发中心，研发下一代移动通信关键技术</p>
	<p>LG公司、KAIST、是德公司签署“共同开发下一代6G无线通信网络技术”合作协议，开展THz无线通信技术研究。</p>

6G发展综述---- 全球6G研究部署

日本

日本国立信息通信技术研究院（NICT）构建可共享的6G技术研究设施；

日本大阪大学与NEC成立6G合作实验室，开发超越空间、场地、真实和虚拟障碍的“超越空间”通信；

日本NTT、国家信息通信技术研究所、广岛大学等已开展太赫兹技术、光通信技术、低能耗光驱动芯片技术、量子暗号通信系统等6G关键技术研发。

欧盟

2021年，欧盟汇集25家企业和科研机构，研究6G用例和场景、研发6G基础技术、定义新型6G智能网络架构；

2021年底，欧盟已推出首个大规模6G研究和创新计划。

德国

2021年4月，德国联邦教育与研究部启动德国首个6G技术研究项目，开发6G关键技术、通信标准和面向虚拟现实应用的技术创新方法；

德国弗劳恩霍夫应用研究促进协会启动6G SENTINEL灯塔项目，研究太赫兹技术和灵活网络的解决方案。

中国

2019年6月，工信部成立IMT-2030（6G）推进组，牵头推动6G技术研究、评估、验证和产业化等工作；

2019年11月，科技部牵头成立6G技术研发推进工作组和总体专家组，提出6G技术研究布局建议与技术论证，为重大决策提供咨询与建议；

2021年11月，工信部发布了“十四五”信息通信行业发展规划，强调开展6G基础理论与关键技术研发，构建6G愿景、典型应用场景和关键能力指标体系，形成一批6G核心研究成果；

目前，6G前沿技术研究成为各省市“十四五”期间重要布局方向之一，北京、上海、广东、江苏、浙江等省市已在政策中明确提出超前布局6G技术。

6G发展综述---- 6G阶段性成果

1、在6G总体愿景、网络架构、候选关键技术等方面发布系列白皮书与发展愿景。

- 《6G总体愿景与潜在关键技术》
- 《6G网络架构愿景与关键技术展望白皮书》
- 《6G网络安全愿景技术研究报告》

三大运营商	<p>中国移动提出了“数字孪生、智慧泛在”的6G愿景，在超大规模天线、电磁超材料、新型网络架构、智能化网络、数字孪生网络等方面已经积累了一定的优势，形成了体系化技术方案布局，发布十余本6G白皮书。中国联通发布《太赫兹通信技术白皮书》、《面向6G的算力网络研究》、《6G白皮书》等报告。中国电信提出6G网络架构愿景和五大关键特征。</p>
系统设备厂商	<p>华为公司提出“原生AI、通感一体化、空天地一体化、极致连接、原生可信、可持续发展”6G的六大技术支柱。中兴公司提出“智能无线电、智能覆盖、智能演进”将是6G网络结构的基本技术特征，确定三维连接、智能MIMO、按需拓扑、按需AI与新视野通信是6G网络基本的使能技术。重点研究6G网络结构与6G使能技术，通过测试和试验进一步验证技术可行性。中国信科提出“广域覆盖、移动宽带覆盖、热点覆盖”三大全网覆盖场景，以及“极致低时延高可靠、泛在海量连接、感知与定位”三大不同连接特性场景，开展对于6G愿景、需求、能力与关键技术的研究。</p>
芯片终端厂商	<p>小米、OPPO、vivo、紫光展锐等启动6G相关技术预研和储备，与国内高校开展广泛合作，开展前沿技术研究，并参与发布系列6G白皮书。</p>

6G发展综述---- 6G阶段性成果

2、在6G基础理论与关键技术与验证等方面开展研究。

开展6G信道、通信感知一体化、先进调制编码、超大规模天线、新型双工、太赫兹通信等6G候选技术研究，发布了《超大规模天线技术研究报告》、《太赫兹通信技术研究报告》、《无线AI技术研究报告》、《智能超表面技术研究报告》等系列白皮书与研究报告。

太赫兹技术	<ul style="list-style-type: none">• 电子科大、中物所、中电13所、上海微系统所、天津大学、湖南大学、浙大、复旦、东南大学在太赫兹核心关键器件和通信原型系统开发方面，接近或部分达到了世界先进水平。• 东南大学在360~430GHz频段上实现了单通道103.125 Gb/s和双通道206.25 Gb/s的高速实时2×2 MIMO无线通信系统，速率较5G提升10至20倍。在日内瓦国际发明展会上斩获金奖。
智能超表面	<ul style="list-style-type: none">• 东南大学电磁空间科学与技术研究院、毫米波国家重点实验室、移动通信国家重点实验室在6G信息超材料领域全国领先，实现了基于RIS的SISO、MIMO实时传输。• 中兴完成首个智能超表面反射面板，在5G中频网络外场进行了验证测试。在5G中频基站非视距覆盖小区边缘，终端参考信号接收强度提升10dB，小区边缘用户性能提升40%。• 日本产业技术综合研究所和大阪大学合作开发出能向特定方向反射140GHz电波的反射板，可进行45°、60°和75°方向异常反射，有效形成迂回的电波信道。
智能化网络	<ul style="list-style-type: none">• 中国移动、华为等企业已经开始在5G网络中实践AI和大数据驱动的网络智能化工作。• 在面向6G智能化场景中形成了体系化方案布局。
通感一体化	<ul style="list-style-type: none">• 我国高校及企业已经在关键技术、产品解决方案、验证系统等方面取得重要进展。• 华为在通感一体的驱动力，技术挑战和发展趋势方面进行了研究。• 北邮提出了通信感知一体化波形设计方案。

6G通信的主要潜在技术

革命性和颠覆性的技术 (Revolutionary technologies) 涉及信息、材料、大气物理、基础物理等学科。

- 全息无线电 Holographic radio
- 太赫兹通信 Terahertz communications
- 智能超表面 Large intelligent surface
- 轨道角动量 Orbital angular momentum

演进型技术 (Evolutionary technologies) 先进编码调制技术、可见光通信、自由频谱共享与自由双工技术。

- 多址技术与编码调制/波形相融合，提出基于新型多用户编码的非正交多址方式，能更高效地支持未来海量物联网的场景。
- 可见光通信的器件成熟度比太赫兹通信的高，其更多的挑战是应用场景。
- 针对实际网络中频谱需求在不同网络间、同一网络的不同节点间及上下链路间的不平衡性现象，提出分别采用自由频谱共享和自由双工解决上述频谱需求不平衡问题微机电系统技术将电气元件和机械元件结合形成微型化器件

专有网络架构 (Special architectures)

- 空、天、地、海一体化网络 (Space-air-ground-sea integrated communications)
- 光子无线电 (Photonics-defined radio)
- 触觉网络 (synesthesia-networks)
- 毫微网络 (Nano-networks)

下一代通信测试新需求 (终端)

为了满足下一代终端协议标准的推进、技术的验证、产品测试的研发设计、生产测试、入网认证等测试，在多种接入、新范式、高效测试、更高频段OTA测试方面提出了更高的要求。

多接入

终端将对陆、海、空、天一体化网络全面适配，从不同的网络接入最终的一体化网络。

新范式

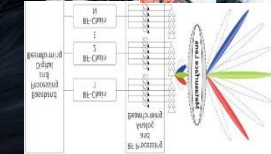
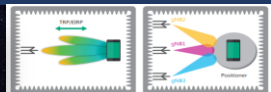
随着智能超表面、全息MIMO等技术的应用，终端将需要在上行信道反馈中适配更新的信道环境，提高了终端测试的复杂度。

高效率

随着信息技术的发展，终端侧接入数量和接入密度将大幅提升。为保证测试需求，进一步降低测试成本，不断提高测试效率。

OTA

终端工作频率变得更高，仪表的测试频段势必要覆盖300GHz，特别是高频OTA的测试。



下一代通信测试新需求 (基站)

随着B5G/6G发展，为了满足基站产品测试的可靠性，准确性以及高效性，需解决更高频率、全制式、复杂信道、更快速高效的测试需求，辅助B5G/6G基站完成设计研发、相关无线技术研究与应用、量产测试、入网测试等应用。

高频段

B5G/6G基站工作频段越来越宽、频率上限越来越高，迫切需要支持更高频段的测试手段，频率覆盖到可见光。

全制式

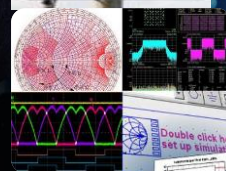
未来通信技术验证需要兼容通信的各种制式，在支持B5G/6G同时兼具5G、LTE、WCDMA、GSM、NB-IOT等4G/3G/2G/物联网协议等射频测试能力

复杂信道

空天一体的运行环境，低轨卫星通信是6G不可或缺部分，电磁环境的复杂性、卫星的高速近地运行，信道环境的建模与仿真将成为网络性能测试的重要环节。

高速率

B5G/6G基站支持更大带宽、更高速率，从而要求数据的传输速率成倍提升，对测试设备的采样率以及数据传输速率的要求也更高。



下一代通信测试新需求（物联网与行业应用）

Ceyear 思仪

随着5G/6G发展，物联网与行业应用越来越深入，形式越来越多样；为了满足物联网产品的高可靠性、低时延、高连接密度的发展趋势，需物联测试仪器具备更高测试精度、更高测试效率、更强的模拟验证能力；辅助5G/6G阶段，物联网设备完成研发、认证、生产、网络优化阶段测试需求。

高可靠

5G/6G物联网设备对于可靠性要求更高，达到99.99999%，需要更高测试效率的仪表来模拟验证可靠性



低时延

6G物联应用领域沉浸化业务智慧交互方面，需要智能体对人类的实时交互和反馈时延小于1ms，对于测试仪器的时延测试性能提出了新的挑战。



海量连接

6G的连接密度可以最大支持1亿个连接/平方公里，测试仪器需要支持超大规模的连接密度模拟验证测试能力。



极高速

实时全息通信对速率的要求在Tbps量级。考虑数据压缩算法的同步演进，速率也在100Gbps以上，这些新要求对于物联测试仪器提出了更高的要求。



测试赋能科技，一起创造未来

Ceyear 思仪

电科思仪助力您达成测试心愿

CEIC 中电科思仪科技股份有限公司