TeraVM 无线场景仿真仪表

面向数字孪生
训练和测试无线优化应用

July 2024

VIAVI 3D 无线场景仿真仪 RAN Scenario Generator (RSG)
Train AI and Test AI

预测物理参数变化带来**的影响**

+
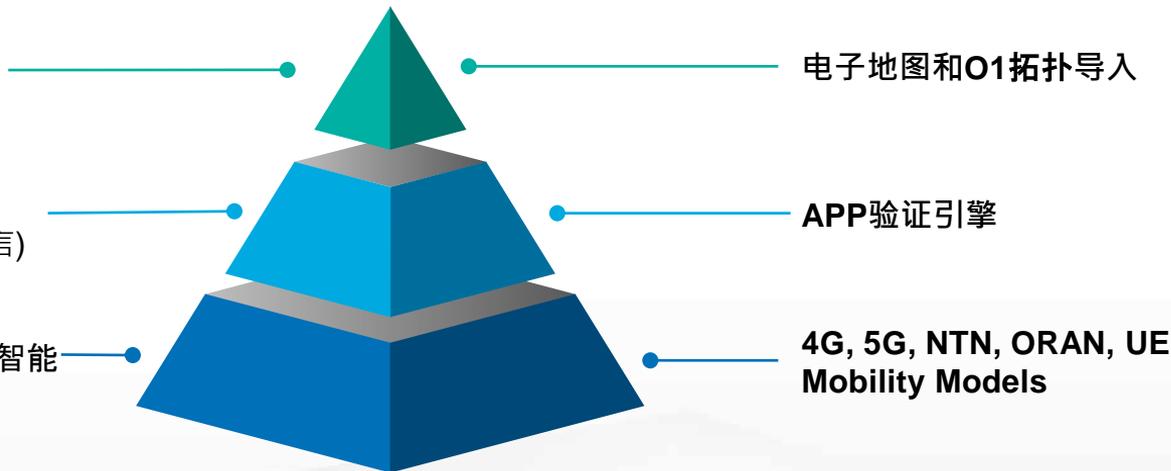
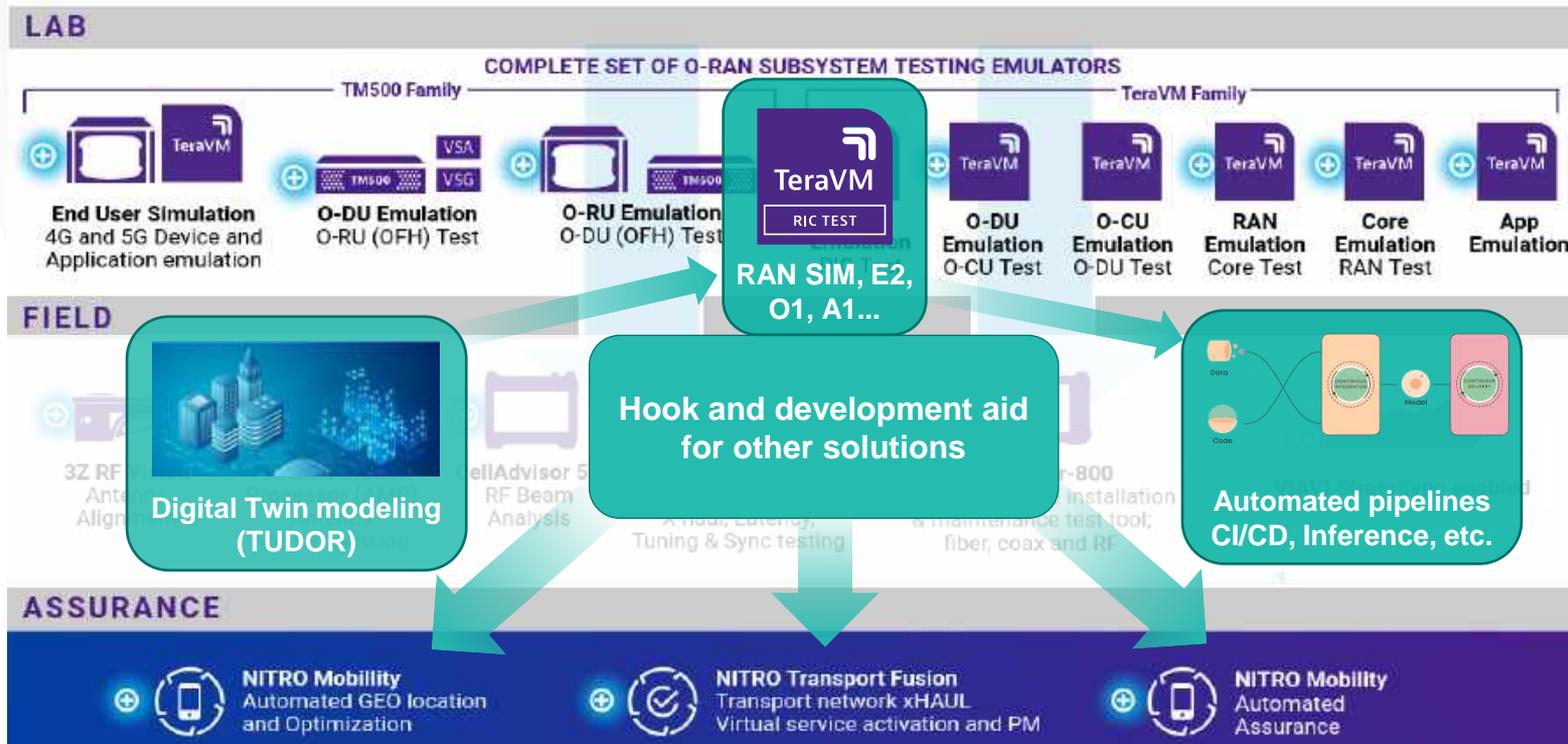仿真 RAN 节点预测
系统参数带来的影响

数字孪生
智能化真实场景仿真

电子地图和O1拓扑导入

App Validation Engine
针对 AI 应用的测试 (机器语言)

APP验证引擎

无线场景仿真器 RSG （人工智能
训练）

4G, 5G, NTN, ORAN, UE
Mobility Models
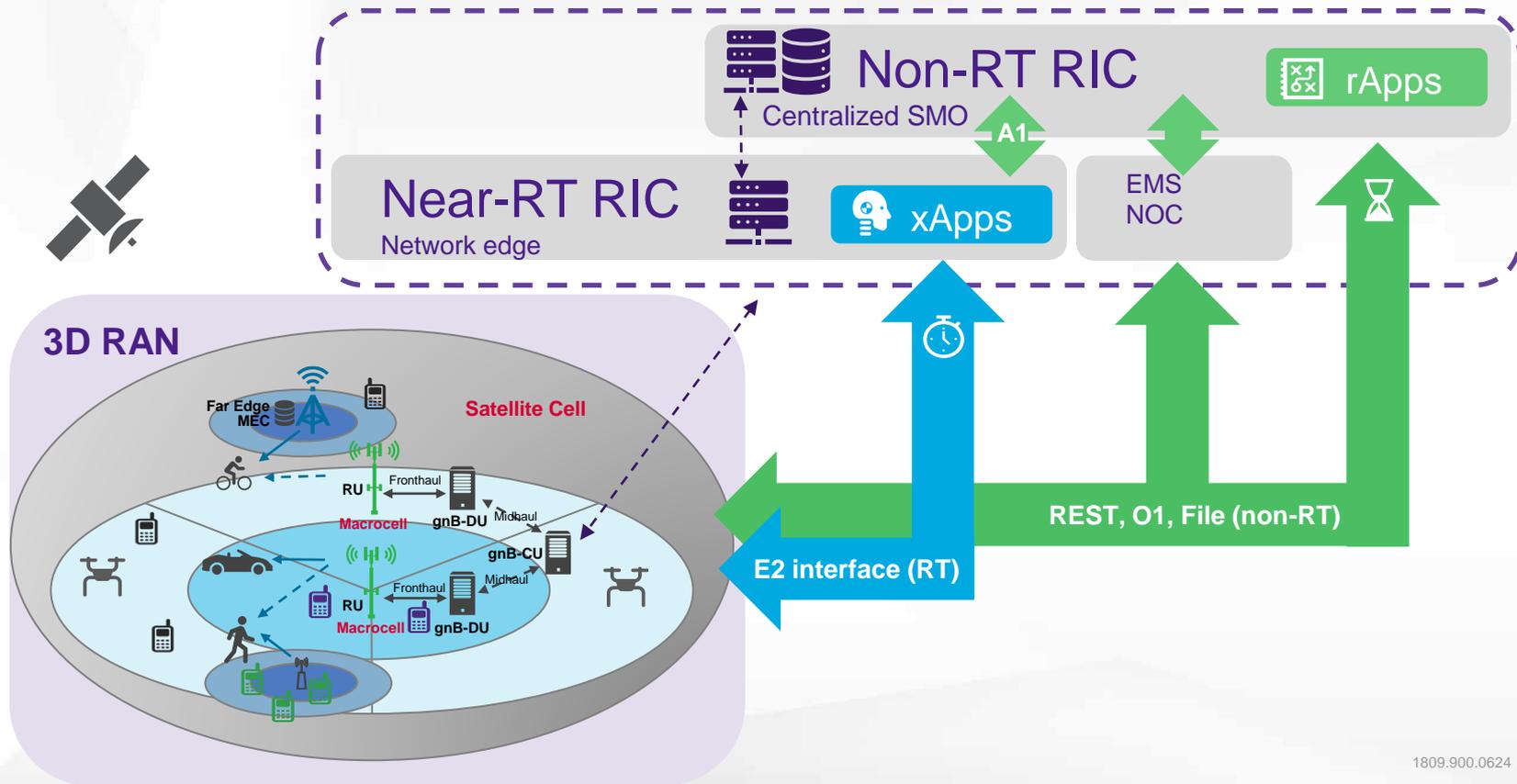
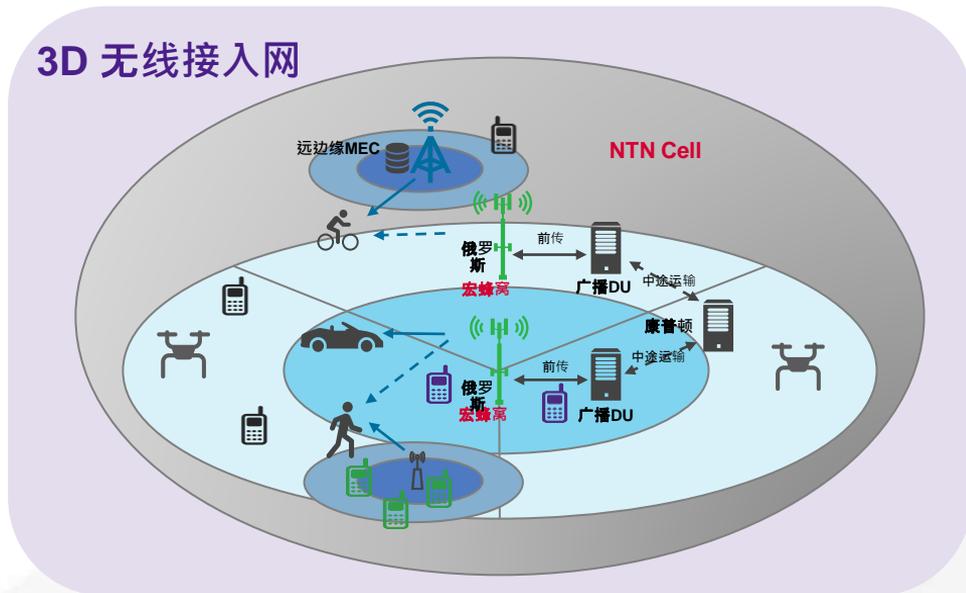# RIC 测试确保从实验室到现场网络部署的顺利进行

面向基于AI RAN 优化为目的的 3D RAN 场景生成器 (RSG)

3D RSG 概述

- KPI 报告： ORAN 和 3GPP KPI 测量报告
  - E2（SM KPM 和 RC）、文件、REST API、O1
  - **每用户、每小区 1 毫秒至 30 分钟**
- **拓扑**： 4G、NSA、5G SA、宏、O-RAN、3D（HAPS、卫星）
- **拓扑**导入：基站坐标、高度、方位角、倾斜度、配置
- UE **移动性**：静态 **室内/室外**、车辆、火车、行人、无人机

3D 无线接入网

远边缘MEC

NTN Cell

俄罗斯 **宏蜂窝** 前传 广播DU 中途运输 康普顿 中途运输 俄罗斯 **宏蜂窝** 前传 广播DU

1810.900.0624

高级射频模型：
- 天线倾斜度/方位角/功率/增益/方向图
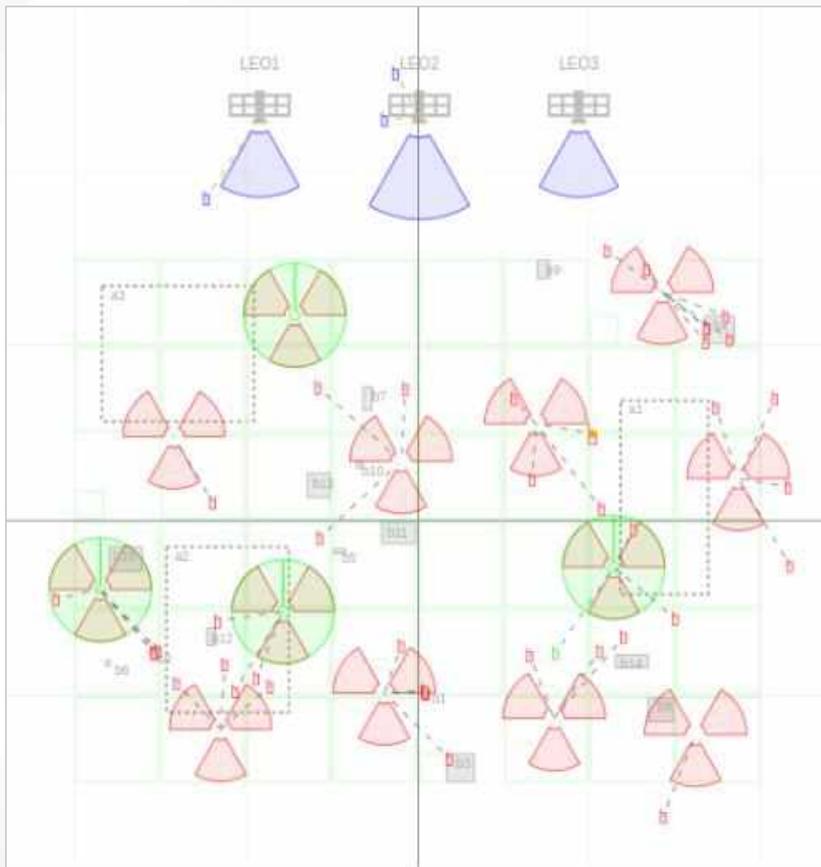- 真实的商业天线模式
- RF环境：Uma/Umi/乡村/室内/室外
- 符合 TS 38.901 标准

L1-3 建模：按 TTI调度流量

- 现实的流量调度算法——循环调度、比例公平、QoS
- 快速衰落、LoS 和 nLoS
- MAC、PDCP、RLC、SDAP层模拟
- 传输错误、重传、HARQ
- CQI测量，MSC选择
- LTE、NR、TDD、FDD
- RACH、小区重选、小区切换、RRC 状态转换、寻呼（连接模式移动性、空闲模式移动性）。
- 多个 PDU 会话、QoS 流和切片映射
- 切片资源重构
- 丰富的业务/流量类型：URLLC、eMTC等。

容量和可扩展性：
- 低延迟、高容量模拟性能满足 RIC 测试的最高需求
- 可扩展用于 NWDAF 的大规模模拟

RSG 卫星支持

卫星小区 Satelite Cell

– LEO 和 GEO星座

– 小区频率设置——重叠、不重叠、半径、覆盖时间

– 蜂窝尺寸 – 标准和波束成形

– 基于功率和策略的切换（A1至A6）

– Bent-Pipe 4G手机
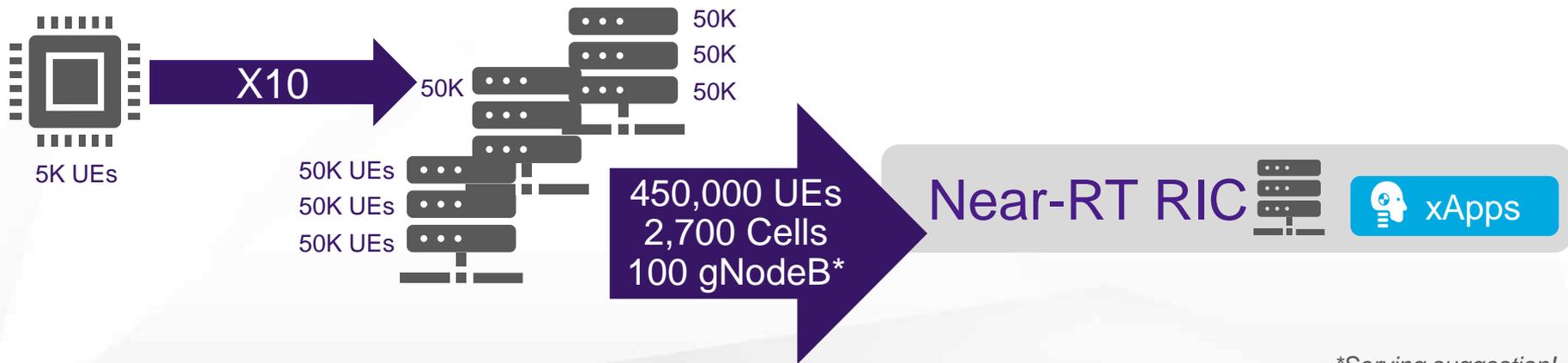
– 长延迟信道模型

– 每个小区的 KPI – 频率、功率、利用率和吞吐量

卫星模型

– 5G独立

– R17 NR 之前版本、R17 NR NB-IOT 和 CAT-M 手机

– Regen – Ariel DU 和 gNB

– 云干扰

– 波束跳跃

性能和可扩展性
Technology Overview

- E2 协议栈可以模拟 1,000's of E2 nodes per CPU core

- 1 RIC Test 实例可以通过运行 RSG 模拟高达 300 cells 和 5000 UEs

- **通**过集群堆叠方式, 10 RIC 连接到同一个RIC, **可以提供高达** 3,000 cells 和 50,000 UEs
  - 这种情况下, 单台Dell R630 server (28 cores) 可以模拟25,000个UE

Serving suggestion!

RIC Test 无线场景仿真: 模型方案驱动
如何模拟RAN

架构驱动的UI

Dynamic Graphics

RUN SIMULATION

VIAVI – 促进行业高优先级用例 x/r 应用程序（针对RIC）

- NW Slice SLA Assurance (Including Traffic Steering and Anomaly Detection)

- Massive MIMO

- Energy Efficiency

- PCI collisions

- QoS / QoE Optimization ; Autonomous Vehicles Control (QoE)

- MLB / Traffic Steering

- Geolocation Integration (provide Geolocation data for x/r-App use cases)

Many more in the future…

App Validation Engine

应用程序验证引擎

AVE - APP Validation Engine

APP 安全

APP 基准衡量

冲突避免

APP 功能验证

AVE 特性

TeraVM
RIC TEST
AVE
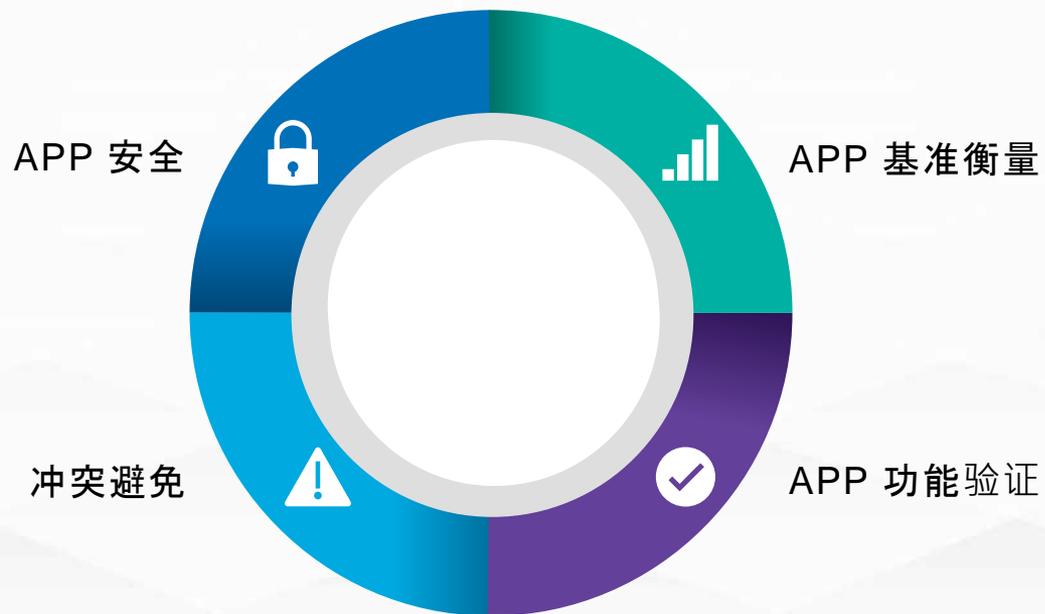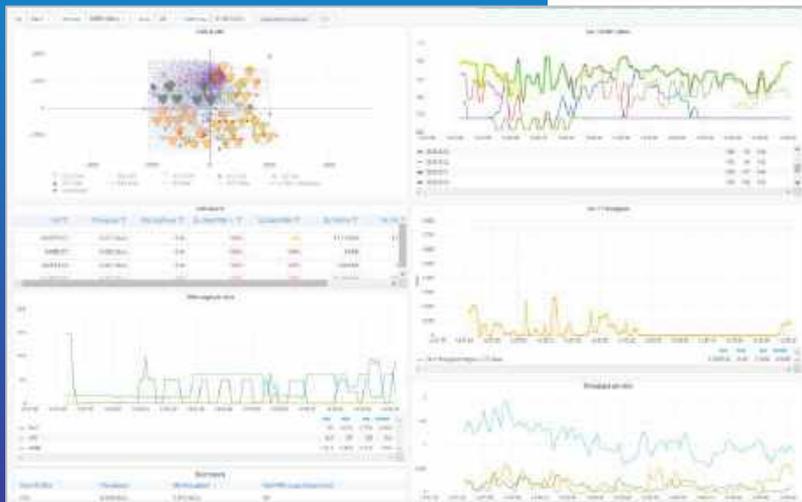
- 数据聚合和存储记录（Influx DB 等）
- AVE 分析仪表板（之前**之后、操作、场景比较**）
- 能够运行并行模拟并进行比较
- 基于 AI 的洞察：趋势检测、收敛/发散
- 基于 AI 的洞察：**因果关系/相关性/基准分析和洞察**
- 基于 AI 的分析：检测目标功能/**控制 KPI**
- 基于 AI 的洞察：**冲突**应用程序检测
- 基于 AI 的洞察：场景提示（基于自我探索/GAN）

App Benchmarking（基准衡量）

场景 1

应用程序比较：哪个应用程序最**适合您的 RIC 和网络拓扑**？

App 1

App 2

场景３３

App 2 是否在相同场景中工作但影响不同的参数？

App 2

Urban

Rural

场景 2

App 2 是否也能在不同的 RAN 场景中工作？

该应用如何在不同的负载/**覆盖范围内工作**？

App Benchmarking （App 基准衡量）
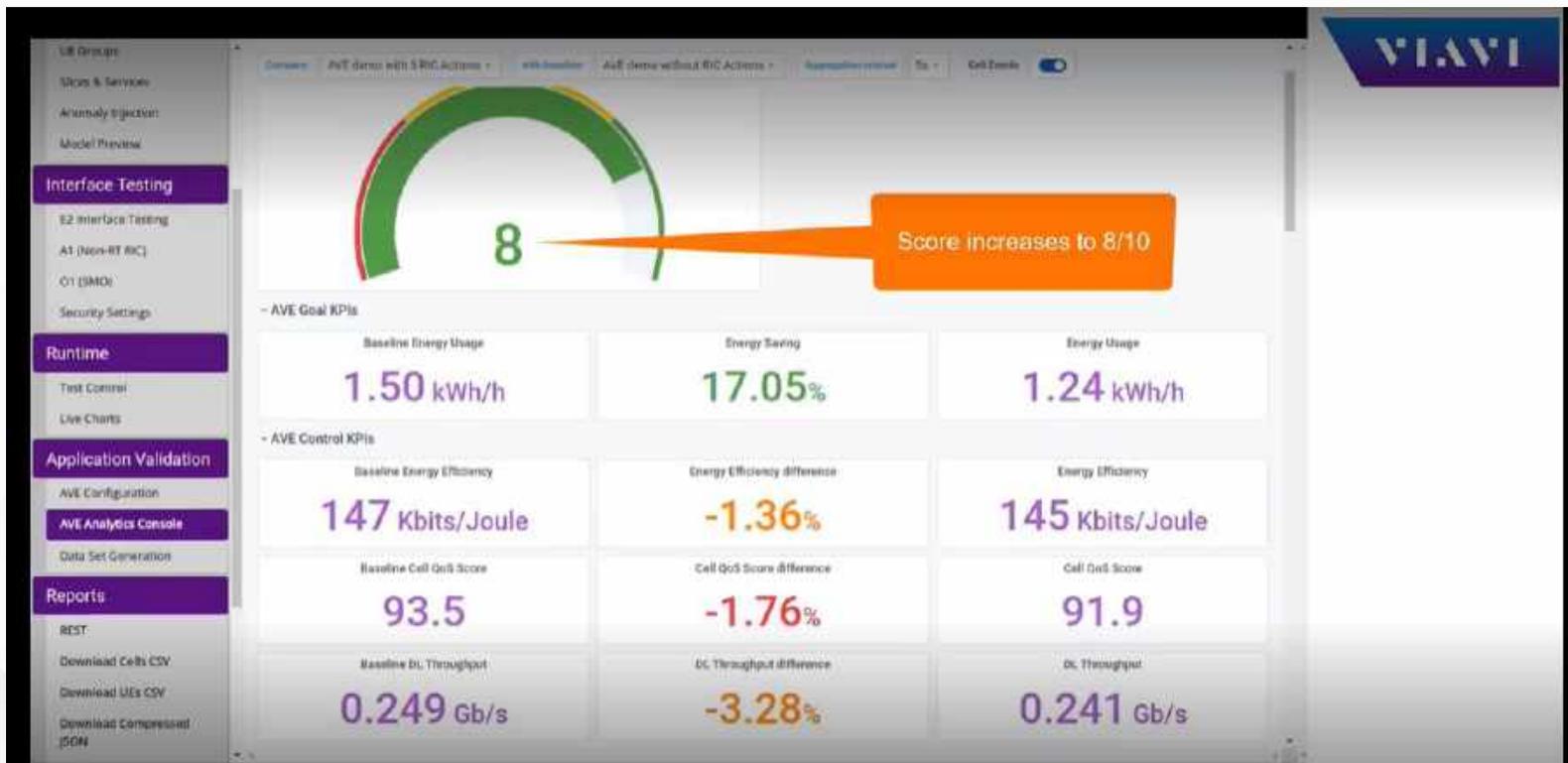
Conflict Mitigation 缓解冲突

大数据、模式和趋势分析

Who wins?

App 1

App 2

最大化覆盖范围并增加天线功率

节能减排，力求降低能耗、节约能源

Challenge:
如果两个应用程序同时在同一区域并行运行，那么就会发生冲突，哪一个会获胜？

App 1

App 2

降低天线倾斜度，例如向下倾斜，从而减少覆盖范围

10 分钟后…
应用程序 2 降低天线功率

Challenge:
两个应用独立运行，在不同时间影响覆盖范围.

在问题发生之前，这些冲突很难被发现。

App 安全 (Security)

Challenge:
担心应用程序有后门，恶意软件可以访问包括用户数据在内的网络敏感数据。这个领域需要强有力的监管。

App 1 - Safe

App 2 -Unsafe X

首先对哪些应用程序比其他应用程序更安全进行基准测试。

App 1

App 2

Security App Patrol

Security App Patrol

App 3

App 4

RAN Intelligent Controller
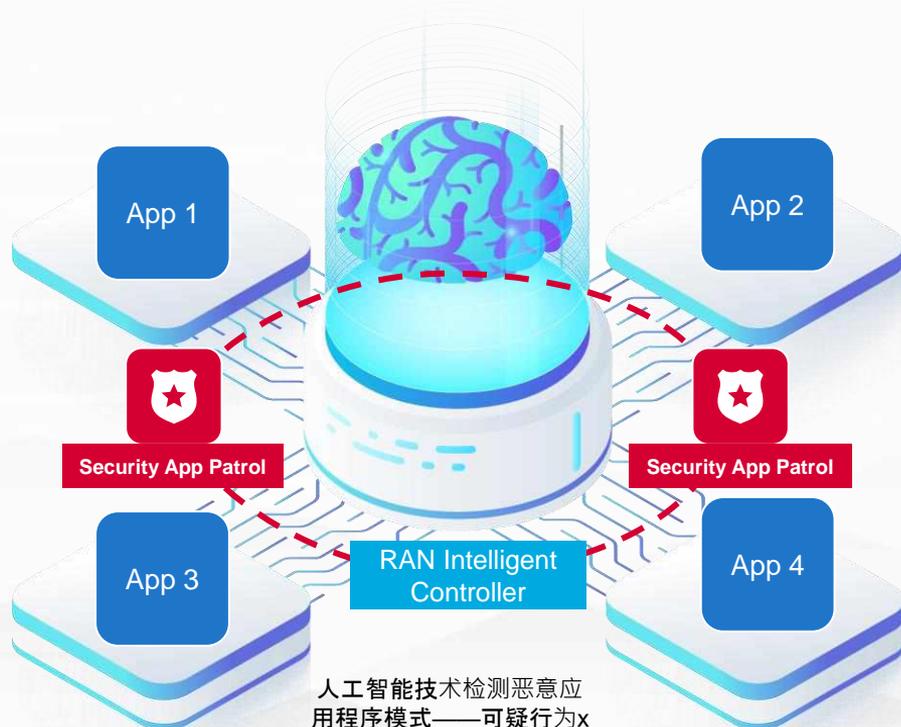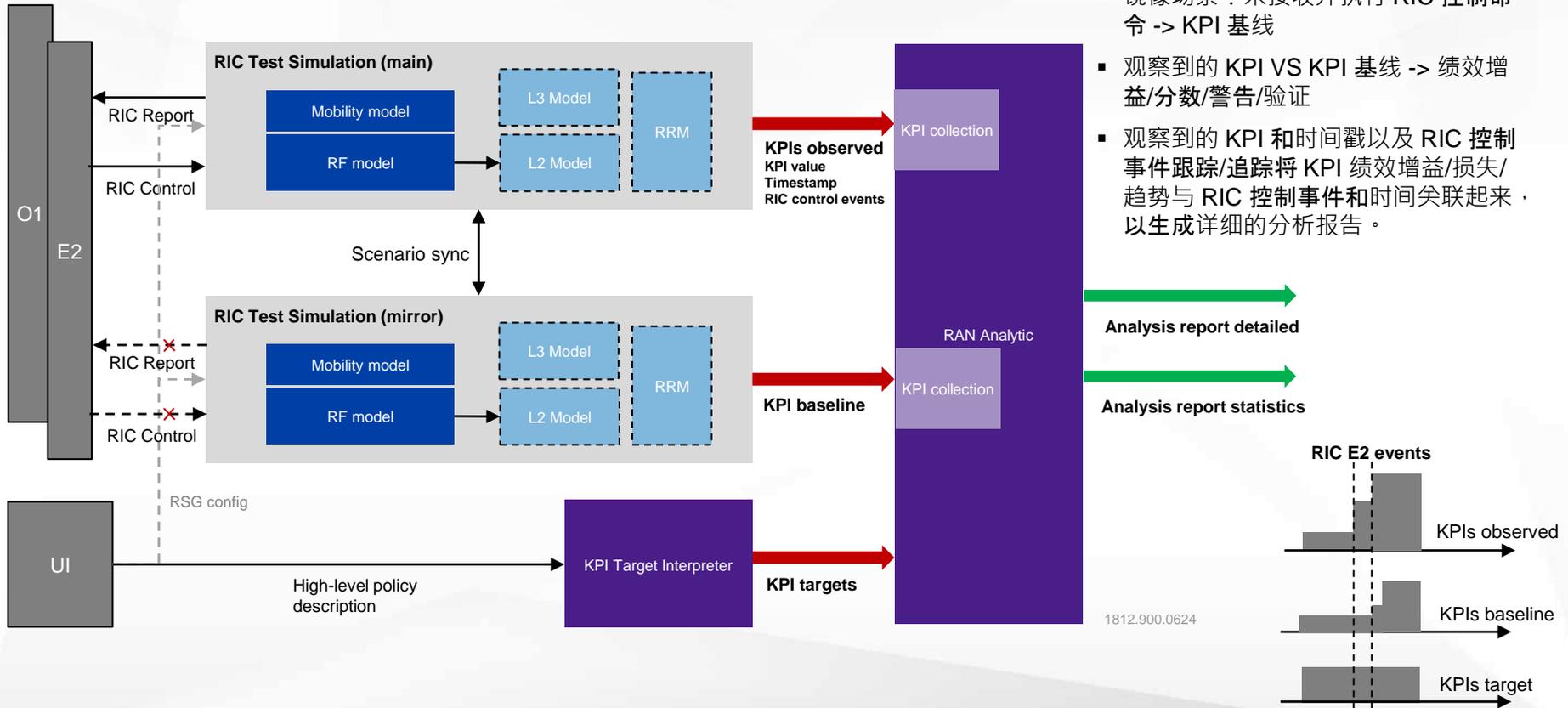
人工智能技术检测恶意应用程序模式——可疑行为x需要仔细观察
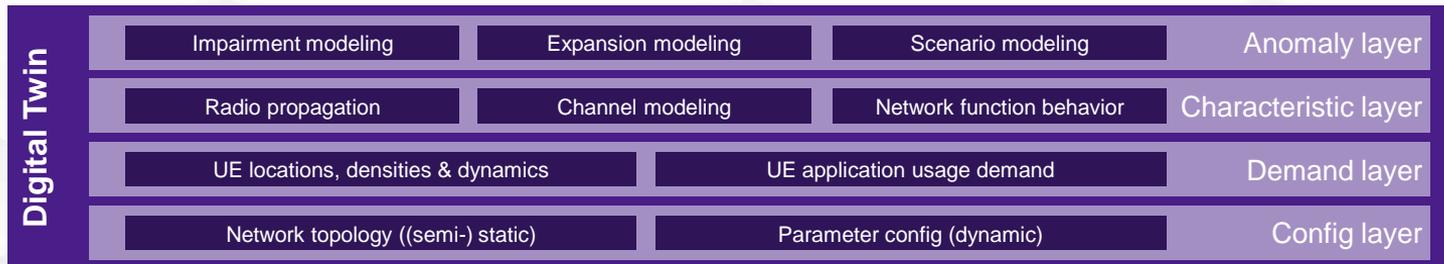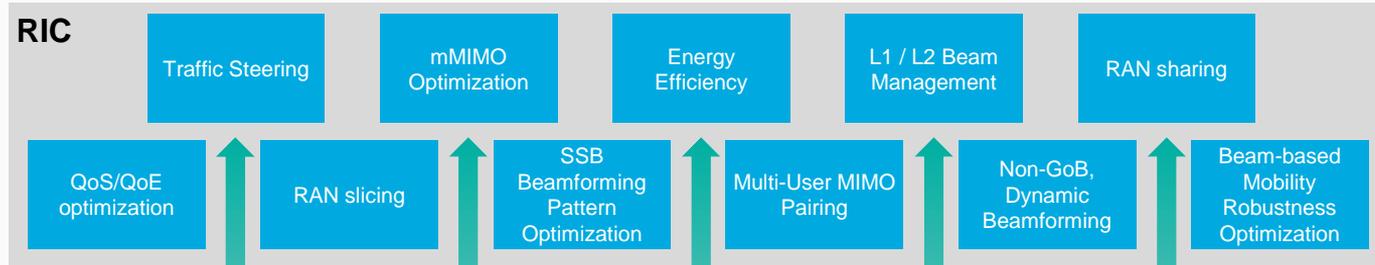
APP Validation Engine - AVE

- 主要场景：接收并执行 RIC 控制命令 -> 观察到的 KPI

- 镜像场景：未接收并执行 RIC 控制命令 -> KPI 基线

- 观察到的 KPI VS KPI 基线 -> 绩效增益/分数/警告/验证

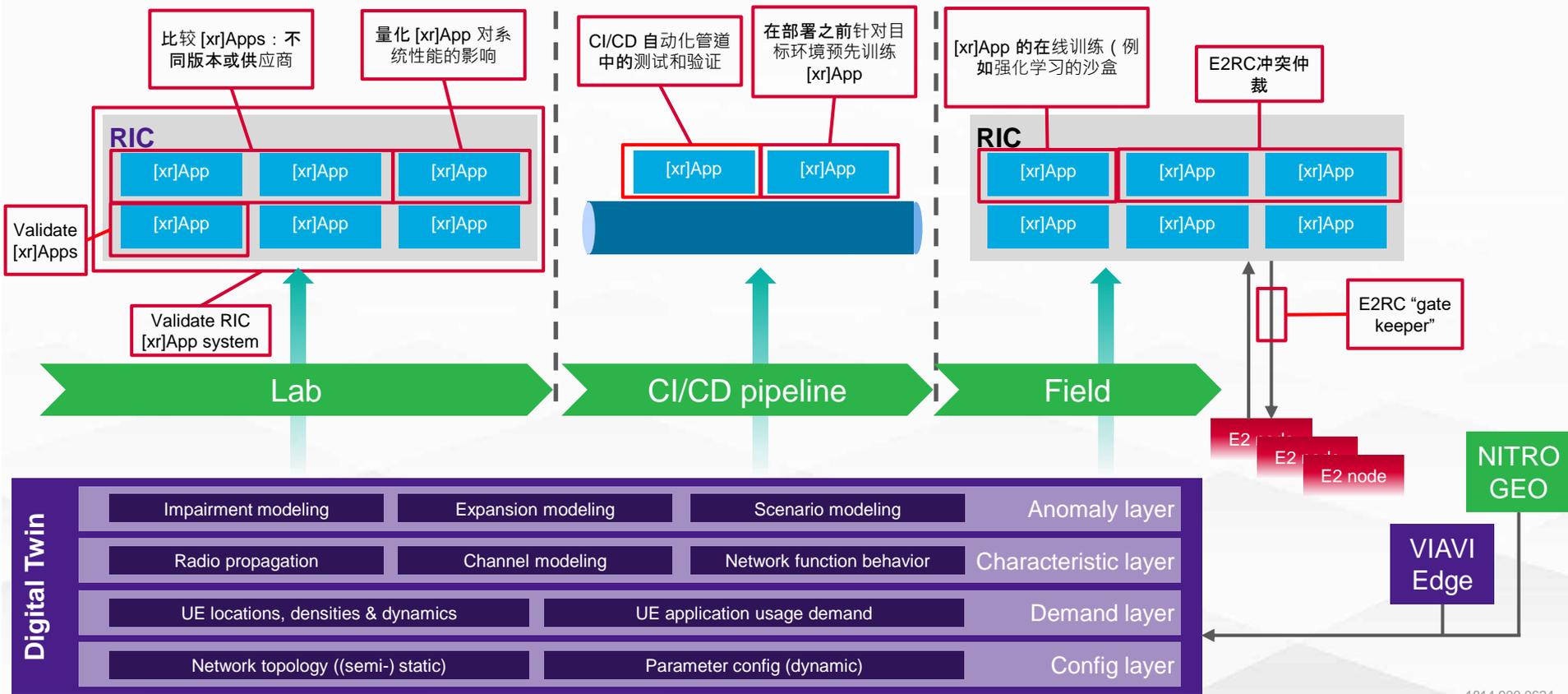- 观察到的 KPI 和时间戳以及 RIC 控制事件跟踪/追踪将 KPI 绩效增益/损失/趋势与 RIC 控制事件和时间关联起来，以生成详细的分析报告。

RAN 数字孪生

思考数字孪生能力的方法

数字孪生的应用实例
实验室、CI/CD自动化交付和现场

比较 [xr]Apps：不同版本或供应商

量化 [xr]App 对系统性能的影响

CI/CD 自动化管道中的测试和验证

在部署之前针对目标环境预先训练 [xr]App

[xr]App 的在线训练（例如强化学习的沙盒）

E2RC冲突仲裁

RIC

| [xr]App | [xr]App | [xr]App |
| [xr]App | [xr]App | [xr]App |

Validate [xr]Apps

Validate RIC [xr]App system

| [xr]App | [xr]App |

RIC

| [xr]App | [xr]App | [xr]App |
| [xr]App | [xr]App | [xr]App |

E2RC "gate keeper"

Lab

CI/CD pipeline

Field

E2 node
E2 node
E2 node

NITRO GEO

VIAVI Edge

Digital Twin

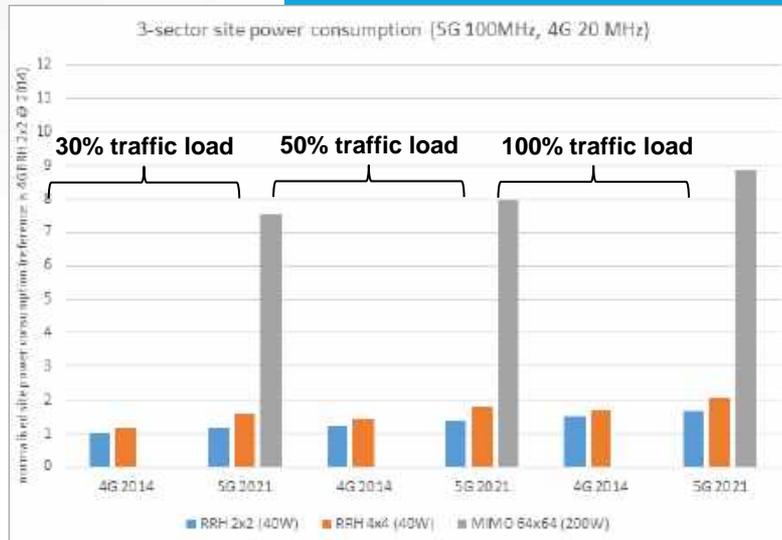| Impairment modeling | Expansion modeling | Scenario modeling | Anomaly layer |
Radio propagation	Channel modeling	Network function behavior	Characteristic layer
UE locations, densities & dynamics	UE application usage demand		Demand layer
Network topology ((semi-) static)	Parameter config (dynamic)		Config layer

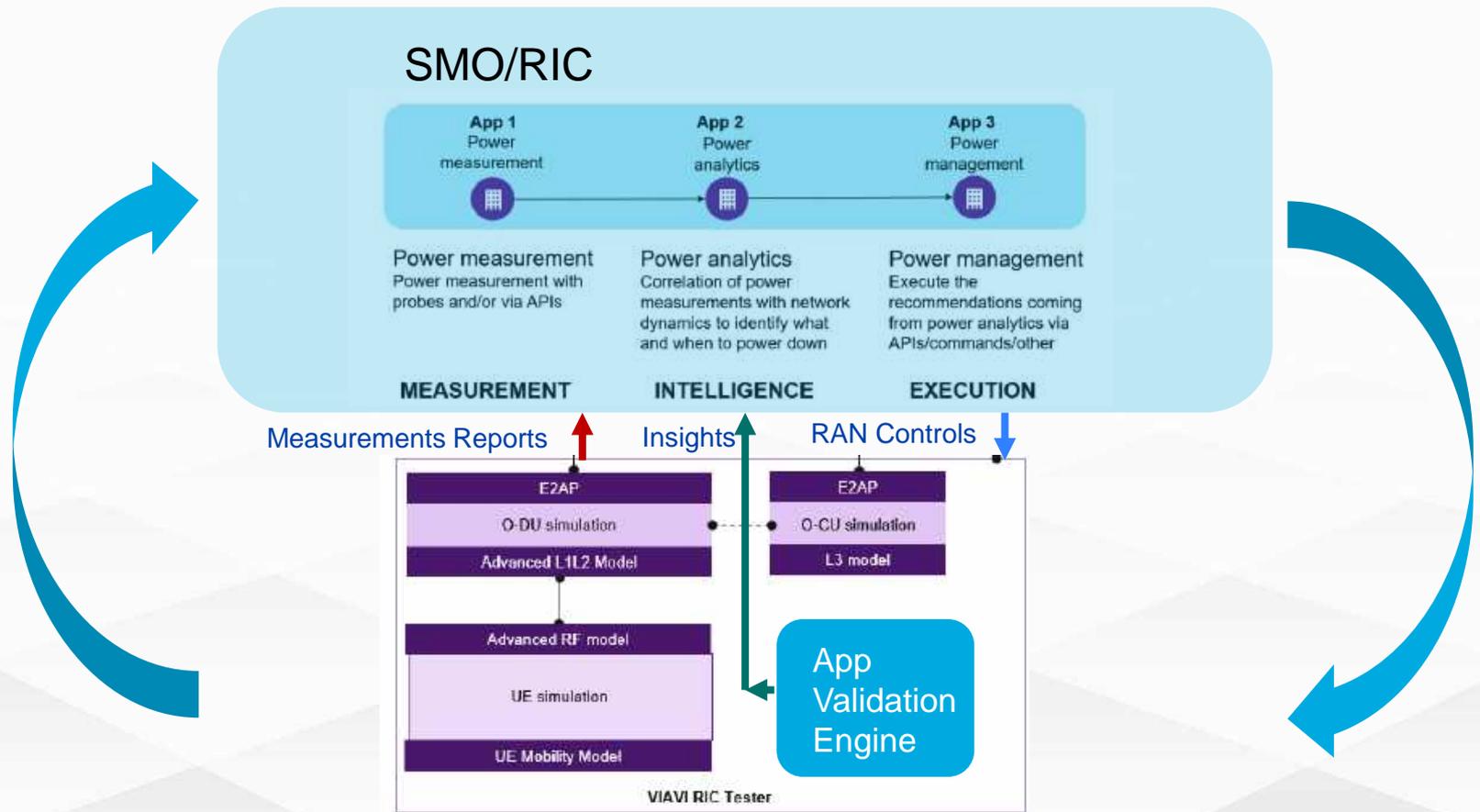1814.900.0624

VIAVI

Energy Savings 节能场景

Energy Savings

问题描述

- 5G 网络比 4G 消耗的电量更多（Massive MIMO、100+ MHz 信道）
  - **例如，具有 100 MHz 信道的 64x64 5G 站点消耗的电量是 4x4 4G 站点的五倍以上**
- 电信公司寻求人工智能解决方案来降低功耗。他们需要从以**下基本方面入手**：
  - 现有的功率测量和监控系统
  - **可以**评估和执行电源管理操作的智能方法和算法
- **策略**
  - **关**闭载波时，载波的整个频率范围都会受到影响
  - **关闭 RF 信道**时，整个 tx/rx 阵列都会受到影响
  - 这些措施中的任何一项的持续时间都可能相当长、多个时**隙甚至不确定（关闭直到明确重新打开）**

3-sector site power consumption (5G 100MHz, 4G 20 MHz)

30% traffic load   50% traffic load   100% traffic load

RRH 2x2 (40W)   RRH 4x4 (40W)   MIMO 64x64 (200W)

Source: www.linkedin.com/pulse/5g-great-tell-me-something-new-jose-l-gil/

功耗可能会从目前 4G 网络中 RAN OPEX 的 15% 跃升至 5G 网络中 OPEX 的 50% 以上（如果部署完整的 5G 功能）

VIAVI 建议的智能化节能 x/rApps 测试场景

节能通用
应用实例

App智能调节节能和
性能的平衡

多频、小区类型和移
动模式的场景模拟

需要 O1接口配合，
CM, PM

E2E RIC Test strategic pillars

x/r-App Test & Validation	Geo Location	Massive MIMO	Traffic Steering
	MRO for V2X	Beamforming	Anomaly Mitigations
	ICIC	Network Slice	Load Prediction
		QOS	

x/r-APP KPI Validation in closed loop, benchmarking and goal fulfilment validation

RAN Scenario Generator	Topology Models	UE Models
	RF Models	Anomaly Models
	Mobility Models	KPI Reporting& Monitoring

Rich Scenario Generator for x/r-Apps AI Models training

Interface Test	A1 Policy	E2-SM KPM
	O1 CM/PM	E2-SM NI
	E2 Service Query/Update	E2-SM RC

Interoperability and Load Management

E2E Comprehensive RIC Test Solution Suite from VIAVI

Many More in the Future …

节能用例 真实客户 实例1

App智能调节节能和性能的平衡

⬇

多频、小区类型和移动模式的场景模拟

⬇

需要 O1接口配合, CM, PM

TeraVM
RIC TEST

E2E RIC Test strategic pillars

x/r-App Test & Validation	Geo Location	Massive MIMO	Traffic Steering	x/r-App Validation Engine	x/r-APP KPI Validation in closed loop, benchmarking and goal fulfilment validation
	MRO for V2X	Beamforming	Anomaly Mitigations		
	ICIC	Network Slice	Load Prediction		
		QOS			
RAN Scenario Generator	Topology Models	UE Models		RAN Scenarios Generator	Rich Scenario Generator for x/r-Apps AI Models training
	RF Models	Anomaly Models			
	Mobility Models	KPI Reporting& Monitoring			
Interface Test	A1 Policy	E2-SM KPM		Interface conformance and scale	Interoperability and Load Management
	O1 CM/PM	E2-SM NI			
	E2 Service Query/Update	E2-SM RC			

E2E Comprehensive RIC Test Solution Suite from VIAVI

节能用测试例逻辑架构

App智能调节节能和性能的平衡

多频、小区类型和移动模式的场景模拟

需要 O1接口配合，CM, PM

E2E Comprehensive RIC Test Solution Suite from VIAVI
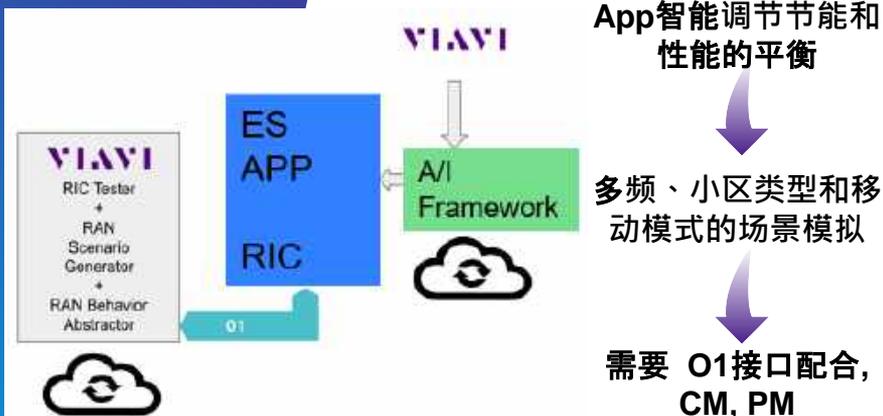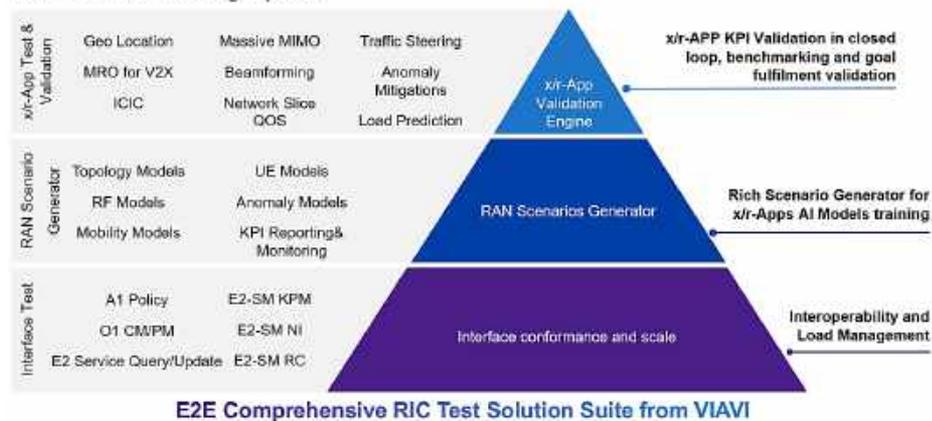
智能节能 x/r-apps 测试

TB.TotNbrDl	UE, Qos	Total number of downlink Transport Block (TBs) (**)	5.1.1.7.3
TB.TotNbrUl	UE, Qos	Total number of uplink Transport Block (TBs) (**)	5.1.1.7.8
PEE.Energy	Cell	Energy consumed (in kilowatt-hours,KhW)	5.1.1.19.3
Pee.AvgPower	Cell	Average power consumed over the measurement period (in watts, W)	5.1.1.19.2.1
MM.HoExeIntraReg	Cell	Number of requested legacy handover executions (intra gNB)	5.1.1.6.2.1
VIAVI.Cell.Beam	nMIMO	Beam index in a mMIMO cell	VIAVI proprietary
VIAVI.PEE.EnergyEfficiency	Cell	Energy Efficiency in bits per joule	Not yet standardized by 3GPP
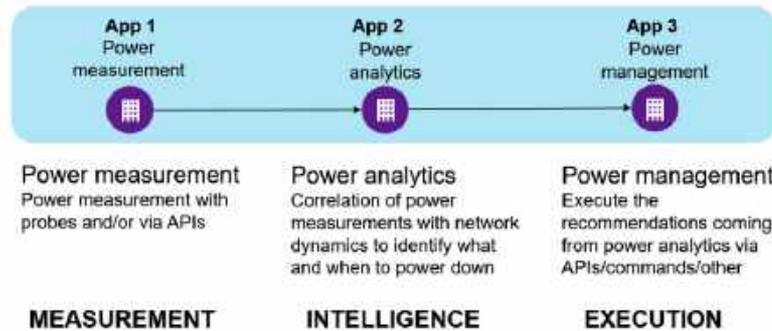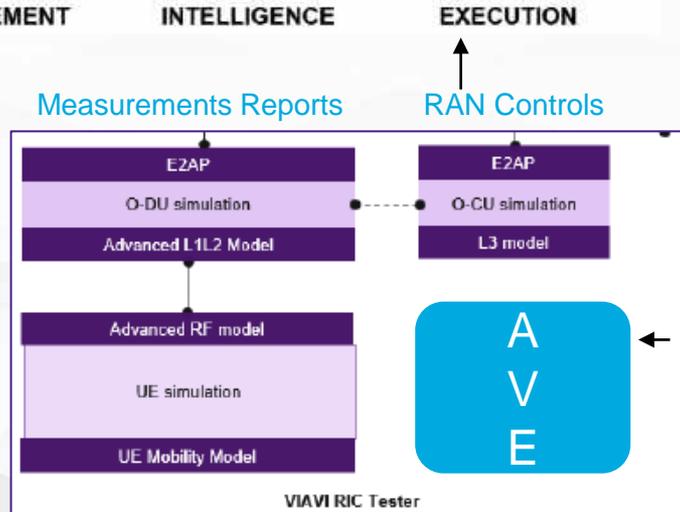
针对ORAN的智能节能（Engergy Saving） X/R-apps 选项

- 关闭和打开部分天线元件（TRX 控制）， 具有各种"睡眠深度（模式）"

- 关闭和打开整个 O-RU（高级睡眠模式），具有各种"睡眠深度（模式）"

- 在定义的时间间隔内关闭，时间到期后 O-RU 将完全激活

- 在未定义的时间间隔内关闭，需要"唤醒"命令才能使 O-RU 激活

- TRX 控制和高级睡眠模式控制

  - O-RU 报告支持睡眠模式的能力

  - 每个模式最多有四种特定的睡眠模式和唤醒时间（一种模式的唤醒时间为零）；

  - 允许的天线掩码和天线层掩码排列

  - O-DU 启用 TRX-CONTROL+ASM 功能

  - 受影响的端点将仅使用 mask-bit=1 数组元素，允许在命令持续时间内关闭（进入睡眠状态）mask-bit=0 数组元素

TeraVM RIC Test ES

配置界面：
现在**可以在 RSG中配置小区的
发射功率**、**最大功率、空闲态
功率**，以及待机功耗等

图标报告：提供总功耗、小区
总功率和每个小区功率使用量
等形式的能源使用信息

场景实例

总共: 40 小区
- 覆盖小区 (绿色): 8 cells
- 容量小区 (红色): 32 cells

每个覆盖小区在区域内有4个容量小区
- 容量小区:
  - Band: N78, TDD,
  - Use isotropic antenna
  - Center frequency: 3600 MHz
  - Bandwidth: 100MHz
  - Tx power: 40 dBm

- **覆盖小区:**
  - Band: N2, TDD,
  - Use isotropic antenna
  - Center frequency: 900MHz
  - Bandwidth: 20 MHz
  - Tx power: 30 dBm

Cells & UEs

无线场景其他配置细节

1 slice: eMBB

3 组 UE

- Indoors:
  - 13 UEs
  - Static
  - Expected Throughput: 1Mbps

- Pedestrian:
  - 25 UEs
  - Moving: Manhattan path, 20m/s
  - ET: 1Mbps

- Car:
  - 150 UEs
  - Moving: Manhattan path, 3m/s
  - ET: 1Mbps

场景指标

通过 O1 接口报告的指标

O1 每 1 分钟报告一次，数据粒度：1 秒

- 模型：LSTM（1 层，256 个隐藏单元）使用 Adam 优化器进行训练

- 使用的指标：物理资源块 (PRB) 利用率

- 模型输入：5 分钟（300 个输入维度），提前预测 1 分钟。要预测 1 分钟（60 个样本），我们每次预测 1 个样本，然后使用新预测的输出生成下一个 PRB 利用率。然后我们重复此过程 60 次。

- 此迭代预测接下来的 60 秒，允许 ES-rApp 在流量过载前 60 秒提前决定开启

Energy Savings rApp

根据收到的 PRB 利用率和预测的利用率：

▪ 对于每个覆盖小区，如果当前和预测的 PRB 使用率较低：
  - ▪ 对于该覆盖小区覆盖范围内的每个容量小区：
    - – **如果容量小区的当前和**预测 PRB 使用率较低，且覆盖小区可以处理容量小区的流量：
      - ▪ 关闭容量小区
▪ 对于每个覆盖小区，如果当前或预测的 PRB 使用率较高：
  - ▪ **打开其覆盖范**围内的所有容量小区

**Threshold:
low - 5%, high – 80%**

Energy Savings 面板统计信息展示

Before and After
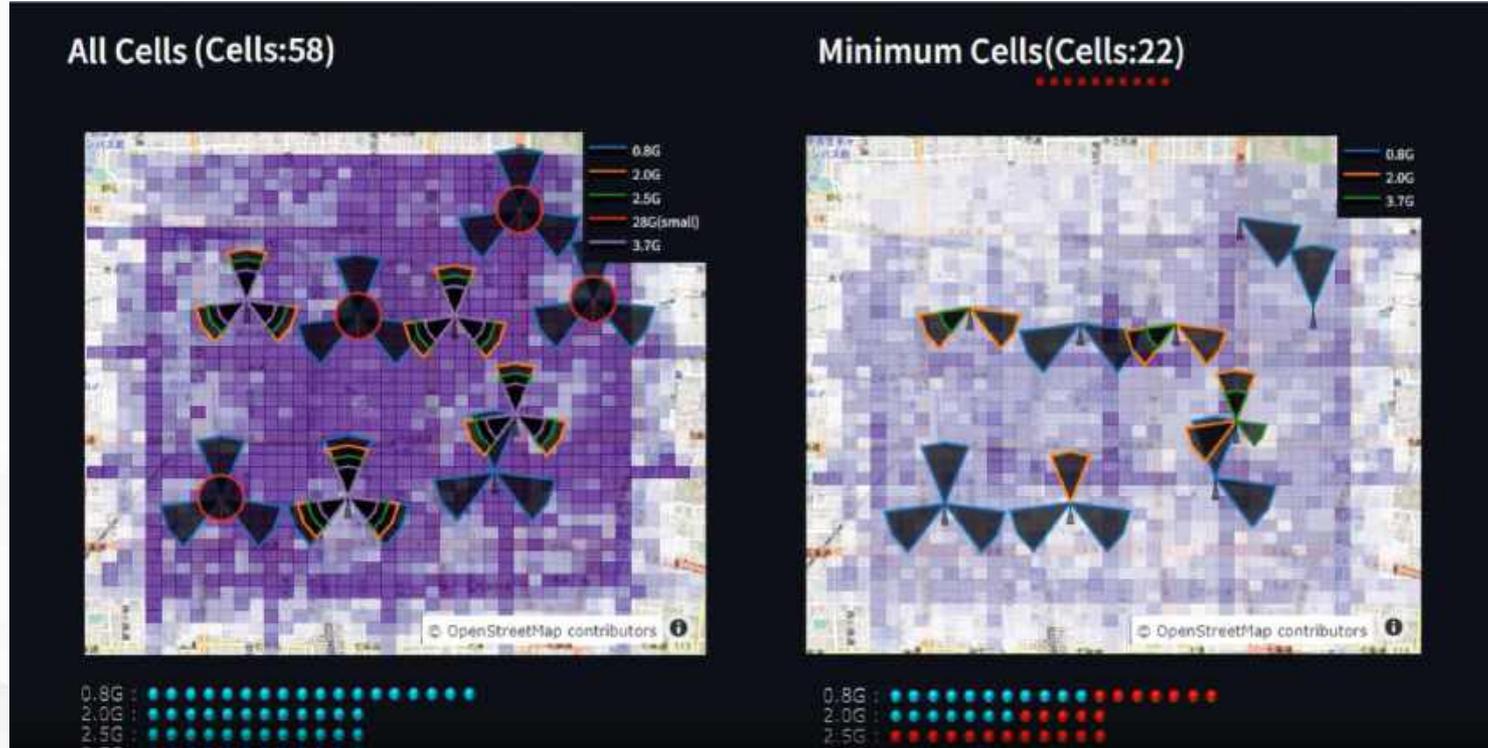
VIAVI RIC Test- App Validation Engine (AVE)

VIAVI AI 辅助评分是衡量应用程序有效性的 1-10 级值。评分算法考虑了目标实现情况以及控制 KPI 的影响.
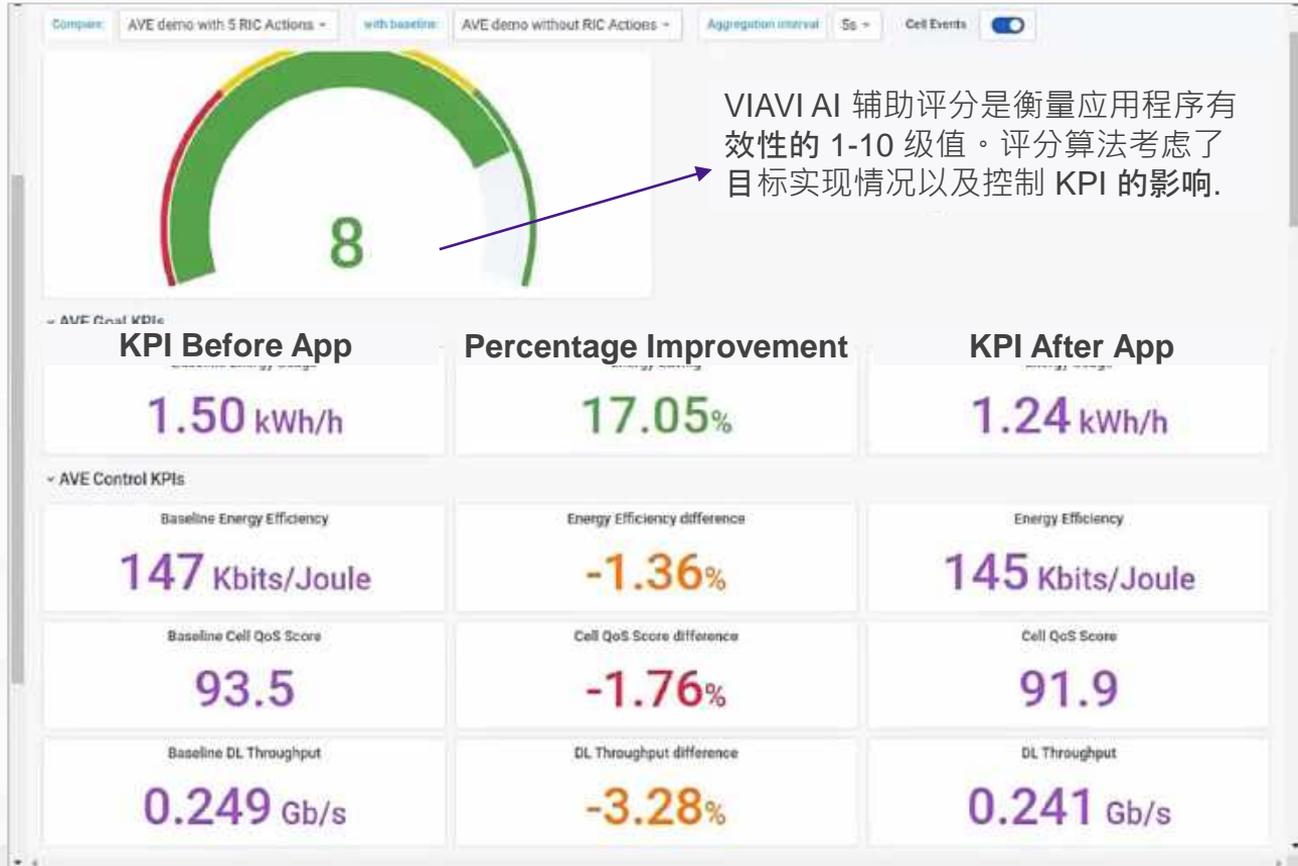
O1 Interface Support

- O1 允许 SMO 框架实时配置 RSG 对象

- 在 RIC 测试中，O1 接口可用于管理 RSG 中单元的配置Managed Element-Single Root Element，其中包括以下托管元素：

  - GnbDuFunction-Single
  - GnbCuCpFunction-Single
  - GnbCuUpFunction-Single
  - REST and NETCONF Parameters Include:
  - GnbDuFunction-Single
  - NrCellDu", an array with NrCellDu-Single objects
  - NrCellDu-Single
  - NrSectorCarrier-Single
  - CommonBeamformingFunction-Single (Tilt, Azimuth)
  - RRMPolicyRatio-Single
  - GnbCuCpFunction-Single
  - NrCellCu-Single
  - NRCellRelation-Single
  - CESManagementFunction-Single
  - GNBRUFunction (Tilt Command)

O1 Energy Savings Command

- O1 接口支持 CESManagementFunction，用于控制 Cell Energy Saving

- Energy Saving 由 CESManagementFunction 中的两个属性控制：

  - energySavingControl - 将值设置为 toBeEnergySaving 将启动"软关闭"程序，该程序将逐渐降低 cell 的 TX 功率 60 秒，然后使其处于待机状态。

  - energySavingState - 将值设置为 isEnergySaving 将立即关闭 cell，将值设置为 "isNotEnergySaving"将打开它。

Advanced Cell KPI Data					
ID ▽	PCI ▽	TX power ▽	DRB.UeThpDl Gb/s ▽	RRU.PrbUsedDl ▽	RRU.PrbAvail
S1/B13/C1	5	-1	0	0	75
S1/B13/C2	6	-1	0	0	75
S1/B13/C3	7	-1	0	0	75
S1/N77/C1	44	20	0	0	4914
S1/N77/C2	45	20	0	0	4914

Energy Saving rApp 验证测试例

NO	Test Case ID	O-RAN spec reference	Test Case description	Test Result
1	ESTC_1	O-RAN.WG2.Non-RT-RIC-ARCH-R003	Verify non-RT RIC able to make connection with RIC tester successfully.	Pass
2	ESTC_2	O-RAN:WS2:R1GAP	Verify if ESrApp is successfully onboard & deployed on non-RT RIC	Pass
3	ESTC_3	O-RAN:WS2:R1GAP	Verify ESrApp registration with non-RT RIC over R1 interface is successful	Pass
4	ESTC_4	O-RAN:WS2:R1GAP	Verify ESrApp CM & PM Service Discovery with non-RT RIC is successful	Pass
5	ESTC_5	O-RAN:WS2:R1GAP	Verify if Non-RT RIC is receiving CM data (Add details of API) from RIC Tester.	Pass
6	ESTC_6	O-RAN:WS2:R1GAP	Verify if ESrApp is receiving CM data (Add details of API).	Pass
7	ESTC_7	O-RAN:WS2:R1GAP	Verify if ESrApp is able to subscribe for PM data with non-RT RIC.	Pass
8	ESTC_8	O-RAN:WS2:R1GAP	Verify if non-RT RIC is receiving PM data from RIC Tester (Add details of API)	Pass
9	ESTC_9	O-RAN:WS2:R1GAP	Verify if ESrApp is receiving PM data (Add details of API)	Pass
10	ESTC_10	O-RAN.WG2.Use-Case-Requirements-R003- v07.00	Verify if ESrApp is able to calculate cell load data based on PM KPI	Pass
11	ESTC_11	O-RAN.WG2.Non-RT-RIC-ARCH-R003	Verify to collect 1 month test data for model training	Pass
12	ESTC_12	O-RAN.WG2.Use-Case-Requirements-R003- v07.00	Verify if ESrApp is able to identify the cells for which energy saving control to be triggered based on load condition	Pass
13	ESTC_13	O-RAN.WG2.Non-RT-RIC-ARCH-R003	Verify if ESrApp is able to control/update "energy saving control parameter" on RIC tester through non-RT RIC	Pass

下行功率优化

In RSG, xApp, and over E2 interface
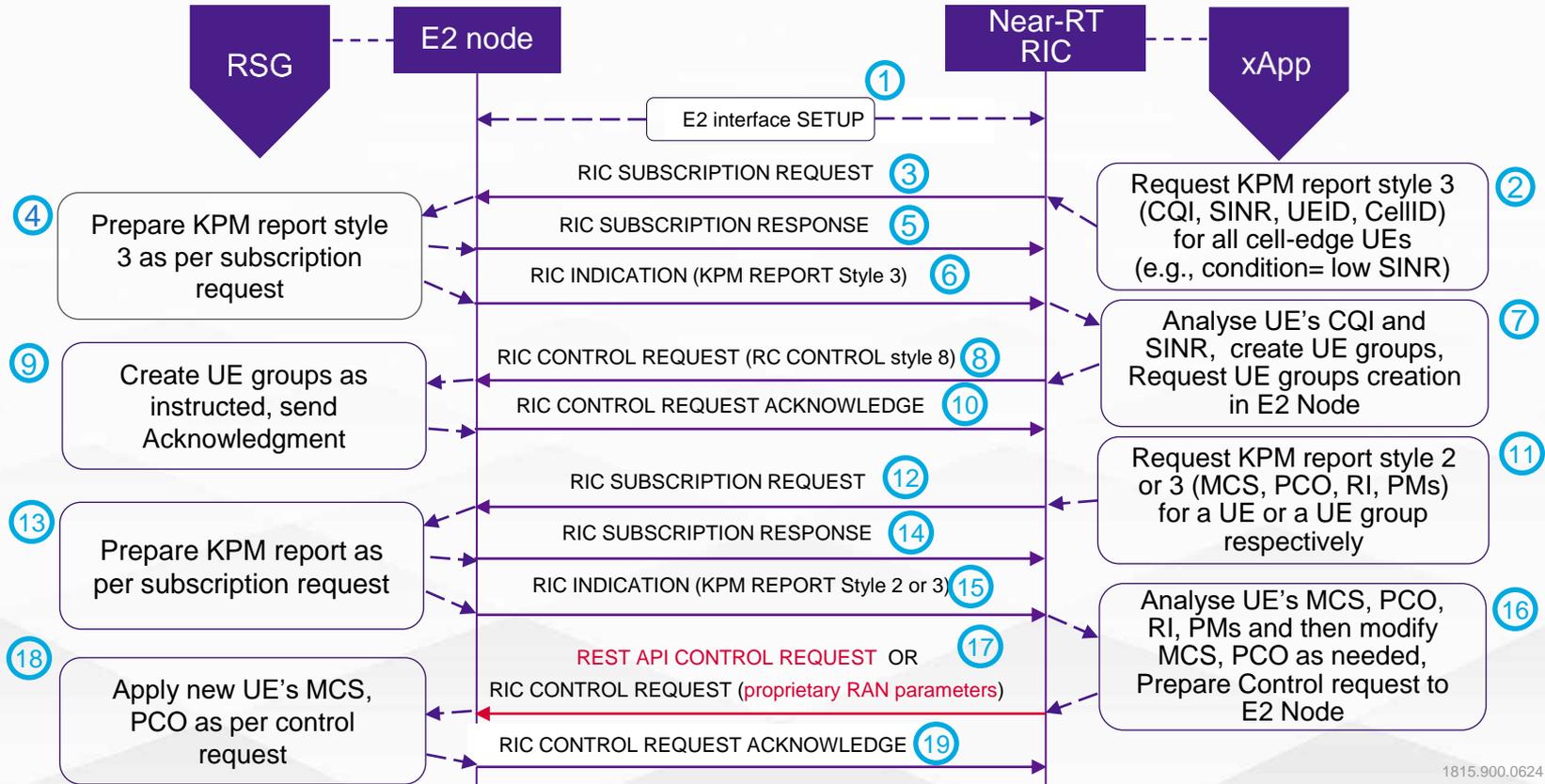
VIAVI Solutions

viavisolutions.com

BackUP Slides

常用实际节能测试案例
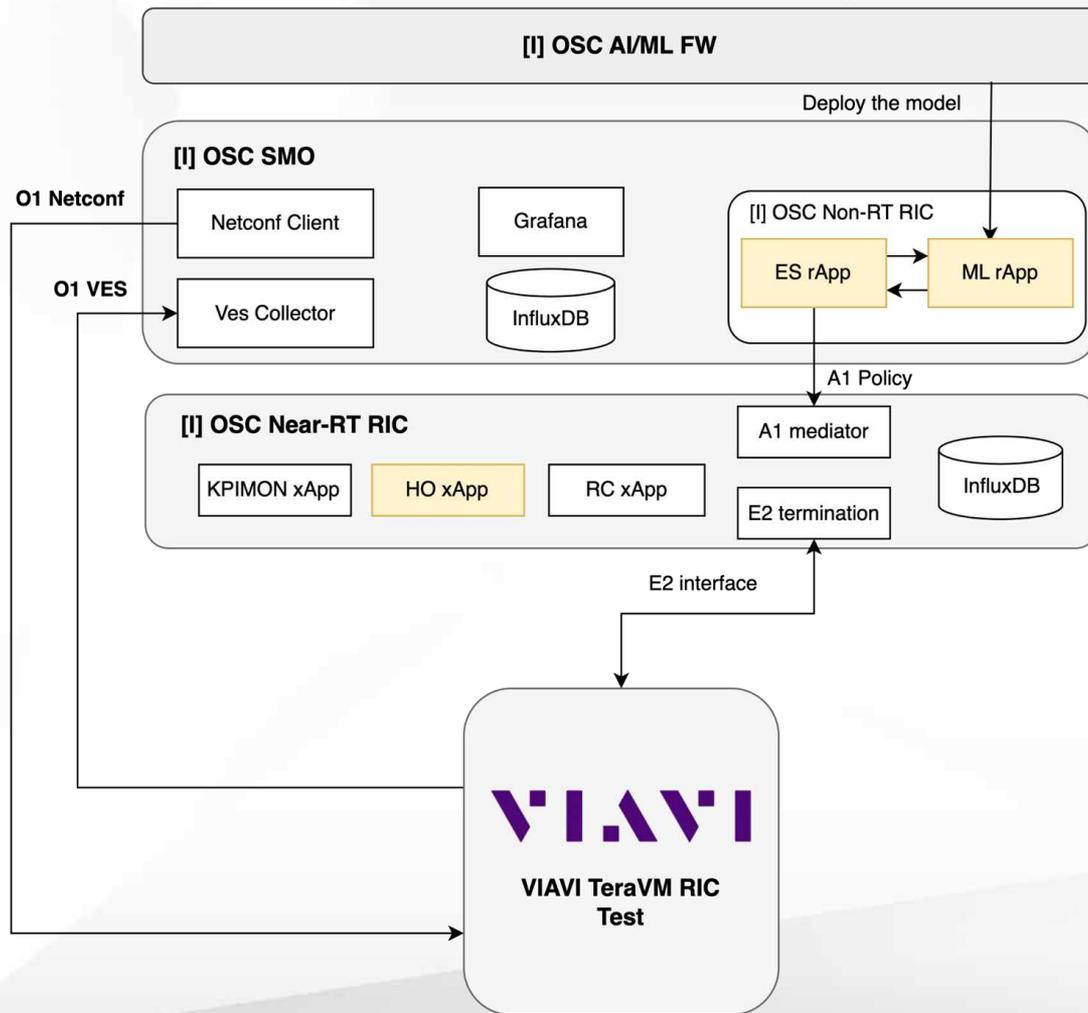
- 使用 RIC 通用平台 + VIAVI RIC 测试的节能用例

根据性能和容量门限开启和关闭小区

当小区负载低于一定门限(40%), 关闭micro cell
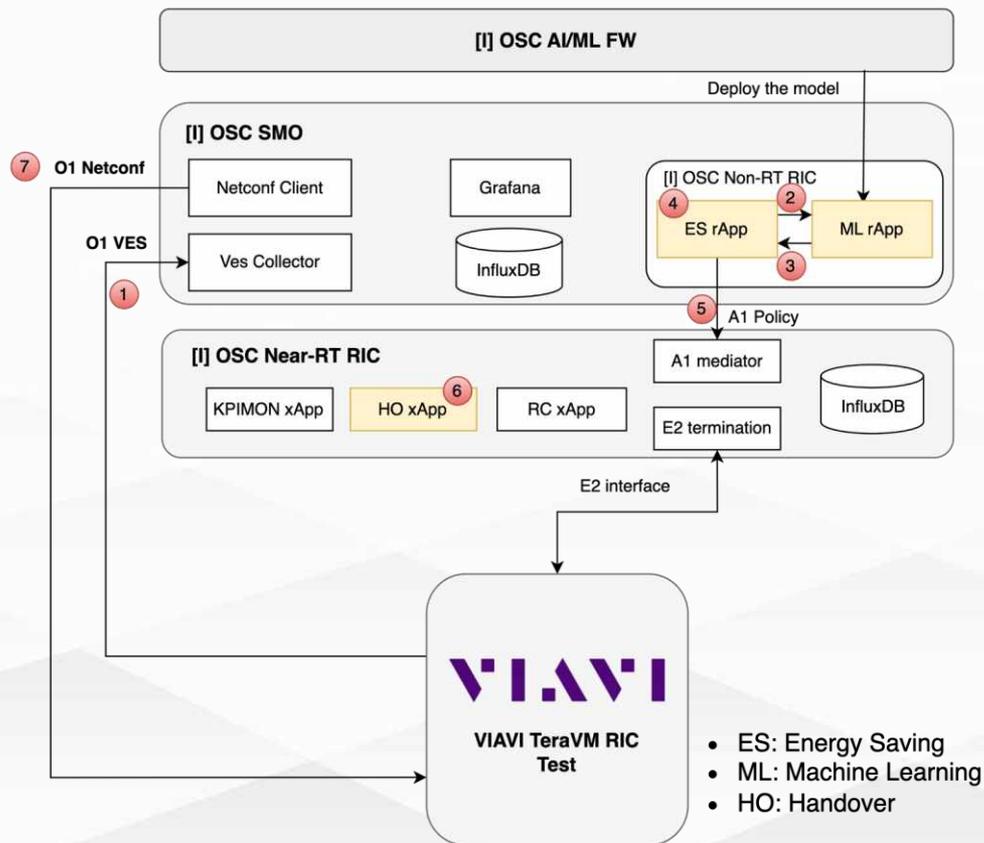

Macro cell
Status: On

Micro cell
Status: On

Loading ↓
Turn off micro cell

Macro cell
Status: On
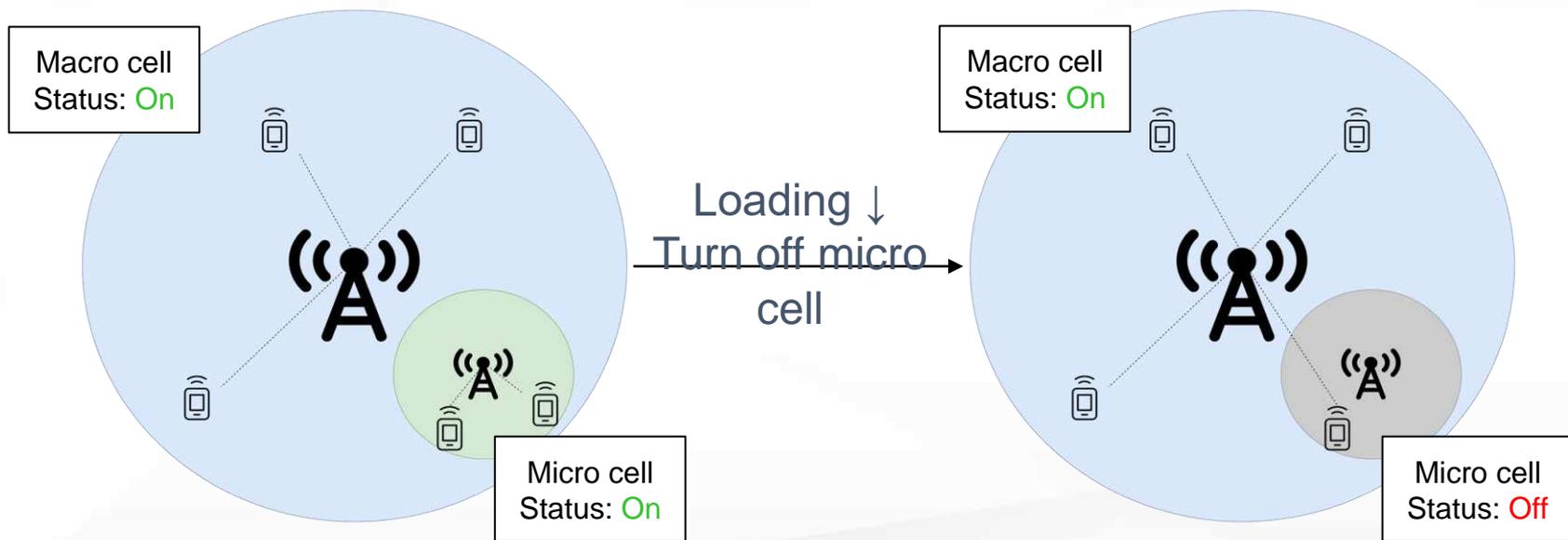
Micro cell
Status: Off

Cell Switch On/off

当**小区**负载高于一定门限 (40%), **开启**micro cell.
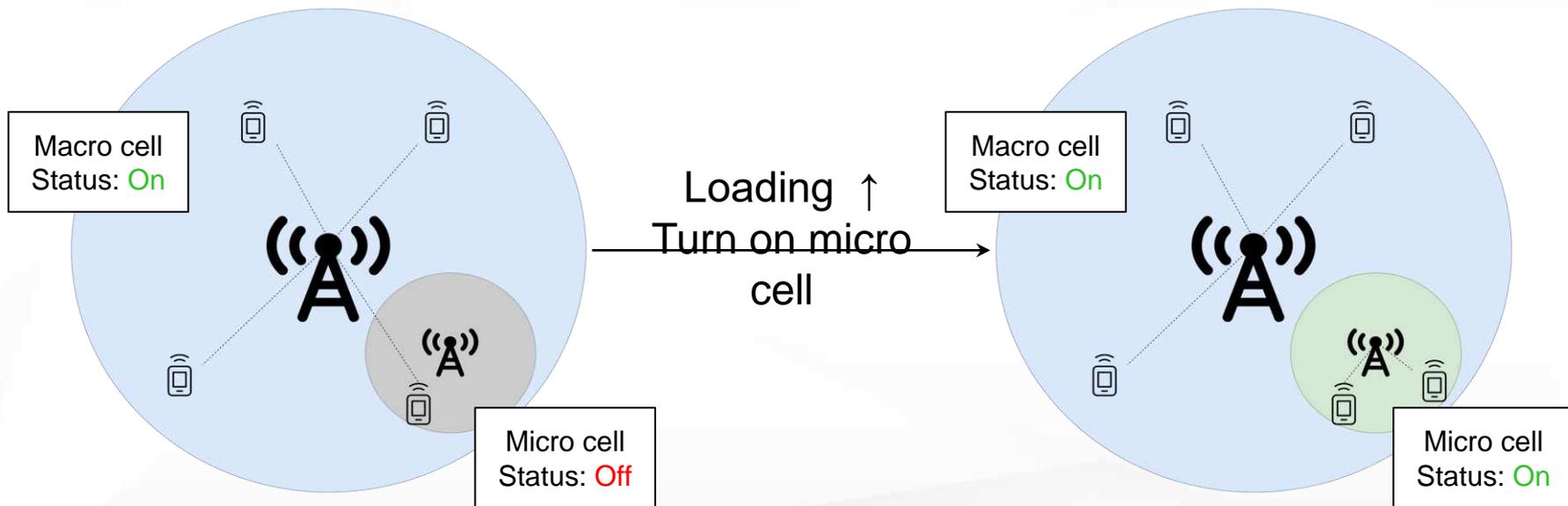
交互流程

1. [O1 VES] 收集 RAN 数据

2. ES rApp 向 ML rApp 发送数据，请求预测流量负载

3. ML rApp 发送预测结果

4. ES rApp 决定是否开启或关闭小区。

5. [A1 策略] ES rApp 发送 UE 信息并请求 HO xApp 进行 UE 切换

6. [E2] HO xApp 将 UE 切换到邻小区

7. [O1 Netconf] ES rApp 打开/关闭小区

消息示例和图表输出

- Non-rt RIC 192.168.8.6
- RIC Test：192.168.8.28
- Near-rt RIC E2：
  192.168.8.111

O1 RIC address