

ANSYS



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

车载天线布局与整车射频系统抗干扰 仿真设计与最佳实践

罗辉 / 高频应用工程师

ANSYS China

内容提要

- **车载天线布局仿真设计 – Savant**
- **整车射频系统抗干扰仿真设计 – EMIT**

车载天线布局仿真设计方法

车载等大平台上的天线问题

- 天线设计时通常按独立或理想条件进行
- 天线安装到真实平台上会带来性能改变 —— 方向图畸变，多天线耦合干扰
- 可能导致对射频系统的性能影响
- 希望在设计早期对天线安装后性能表现精确预测

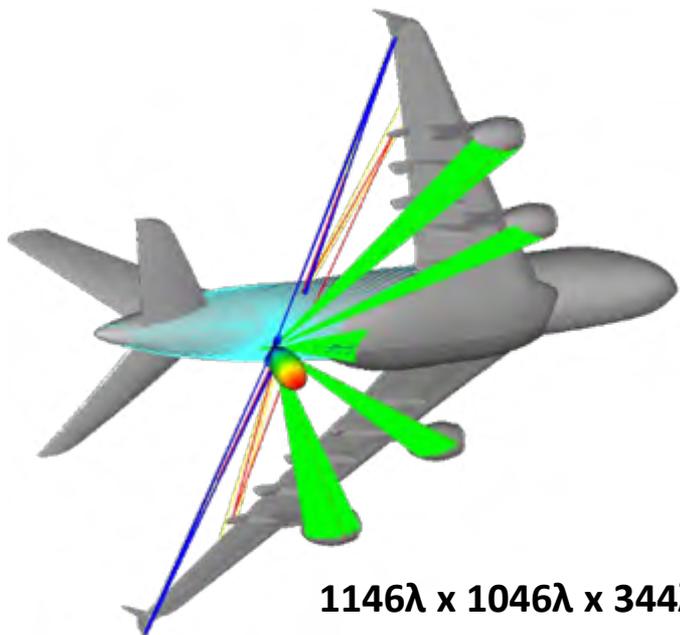


电大平台上天线问题的特点

- 电尺寸巨大



一般算法求解导致海量资源需求



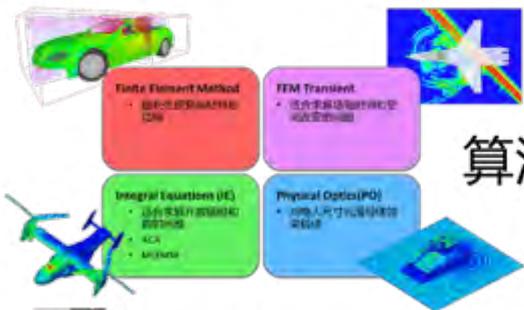
1146λ x 1046λ x 344λ



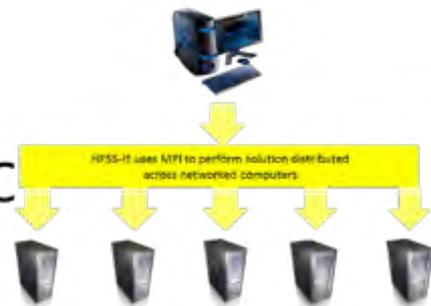
电大平台上天线问题的常规解决思路



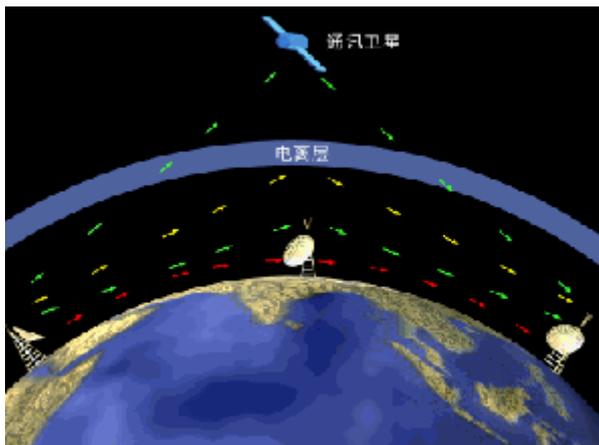
理论分析
MIE



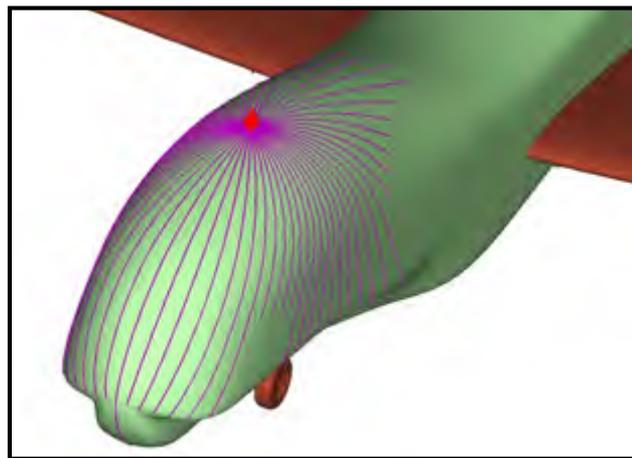
算法+HPC



全波算法+HPC
FEM/IE/MLFMM/FDTD



高频算法
PO/GO/PTD/UTD



高精度修正高频算法
SBR/SBR+

现实与需求

- FEM 和 IE 非常适合于中小尺寸问题

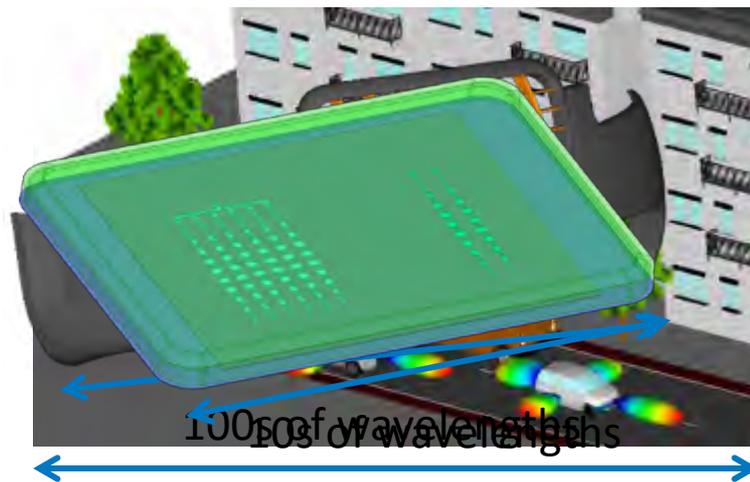
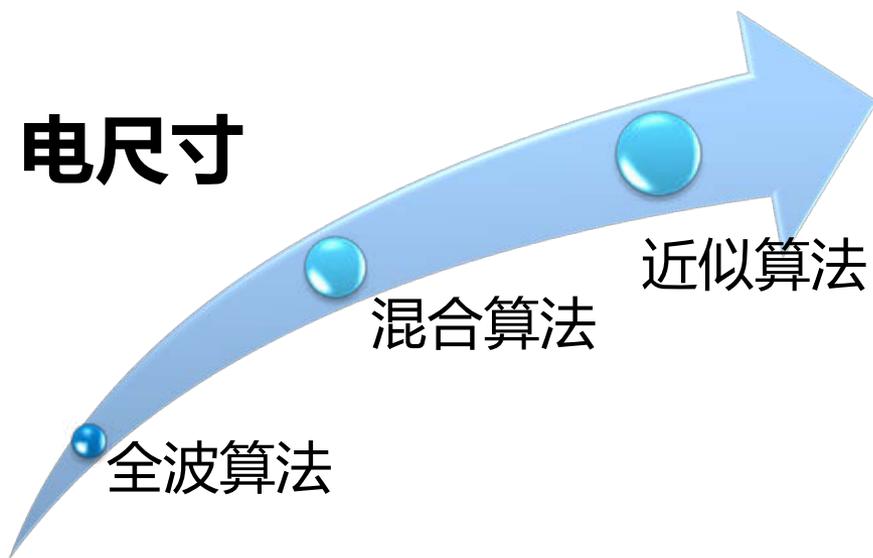
 - ✓ 对大型问题, 运行时间/内存需求非常巨大

- PO 方法对问题复杂度有限制

 - ✓ 通常不能提供客户所期望的精度

- 需求：在保证速度和精度的前提下, 求解非常巨大的问题!

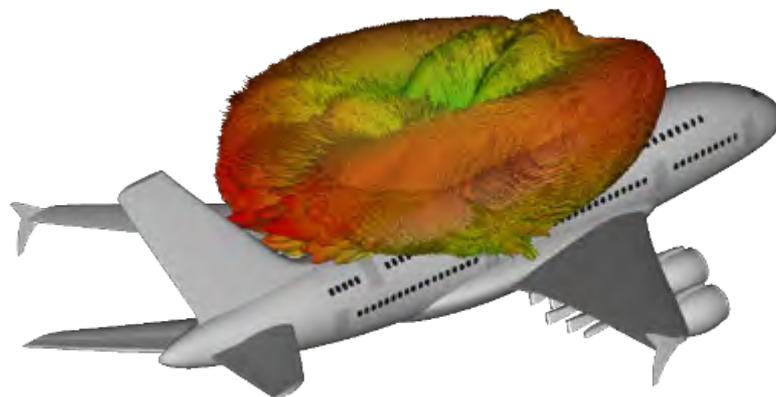
电尺寸



10,000s of wavelengths

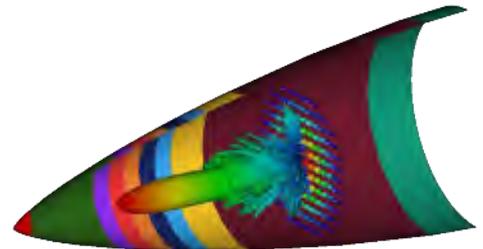
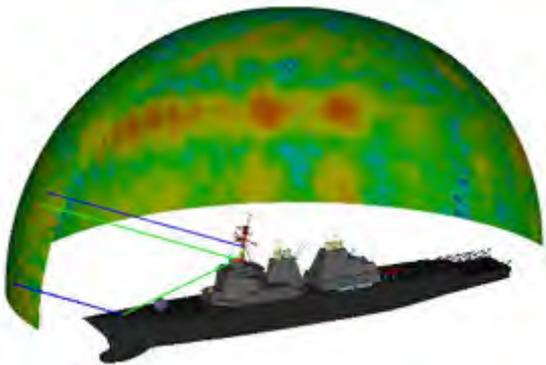
ANSYS Savant

- 用于天线安装后性能预估的最好射线追踪分析工具
 - 聚焦“电大”问题
- Savant可计算
 - 安装后辐射方向图
 - 天线与天线间耦合
 - 近场分布



应用

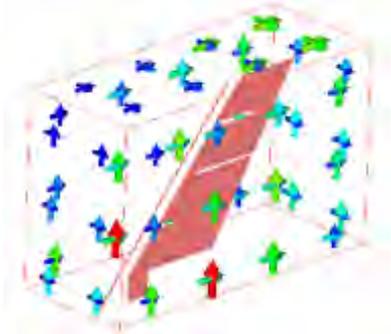
- 天线与雷达集成
- 电子战争
- 通信链路
- 共址干扰
- 汽车雷达
- 天线罩
- 相控阵
- 反射面天线
- 互联车辆
- 无线传感器



Savant优势

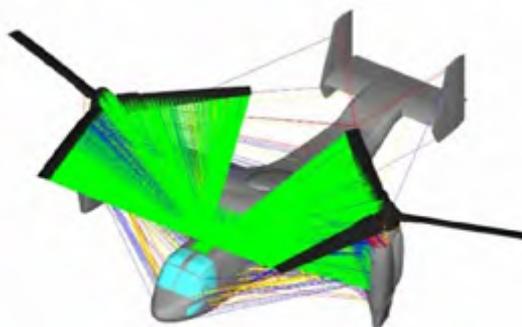
- **互补的技术体系**
 - HFSS: 天线设计
 - Savant: 平台上天线安装分析
- **超级快速:** 多核, GPU 及 MPI
- **低内存需求:** 大多数任务可在 < 8 GB 内存下完成
- **精度:** 其他射线追踪工具所不具备的物理模型
- **直观:** 强大的图形界面, 带完整的帮助/教程

HFSS



UHF 刀片天线@ 2.3 GHz

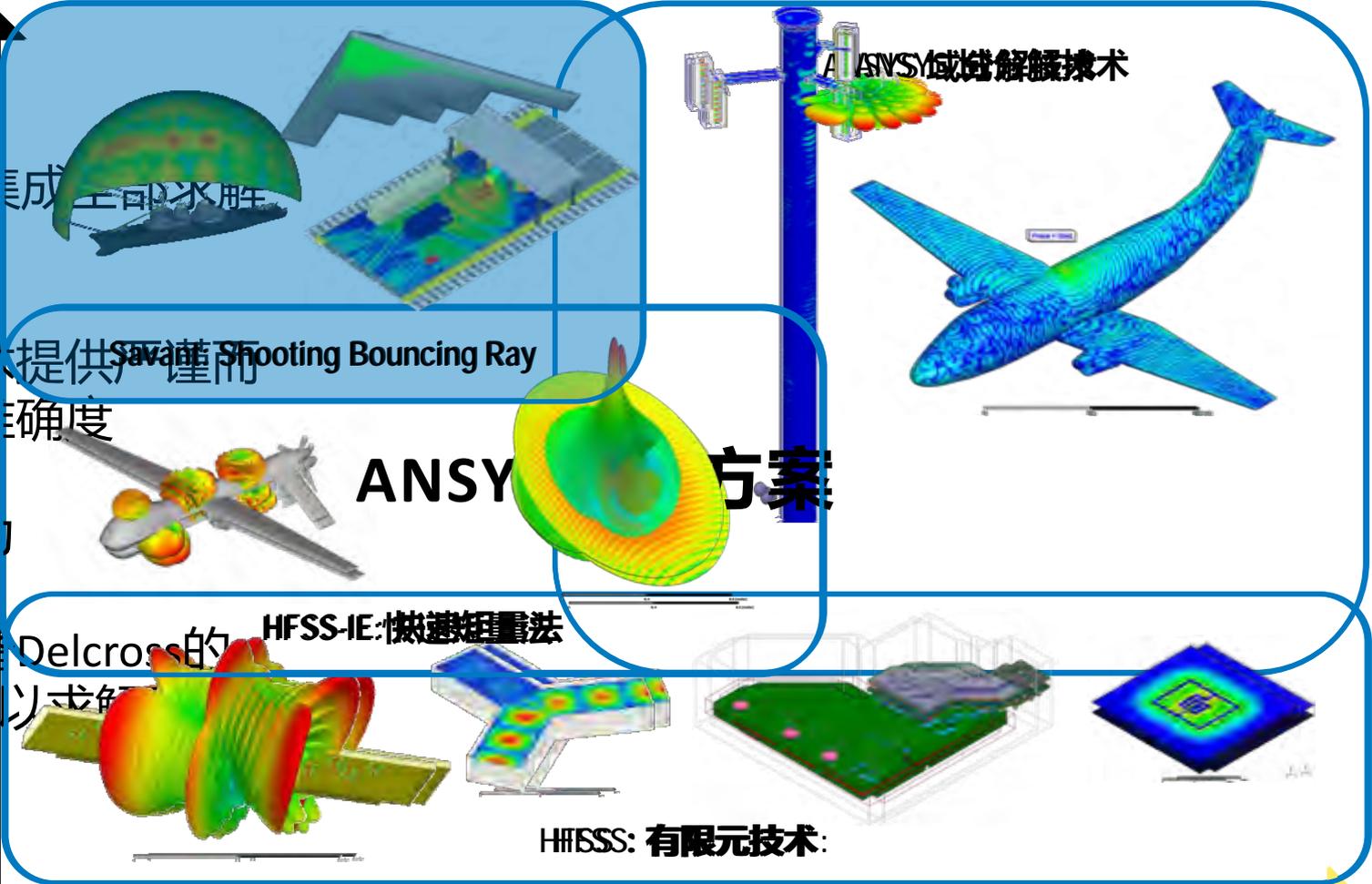
1,620 次仿真量
笔记本上6小时



ANSYS高频电磁仿真技术体系

- ANSYS集成全部求解技术
- 所有技术提供严谨而可靠的准确度
- 全系统
- 只有具有ANSYS才能解决的问题!

电尺寸



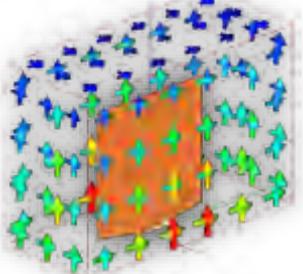
几何和材料复杂度

HFSS 与 Savant 协同工作流程

HFSS中求解独立天线
单元



250MHz单极子天线



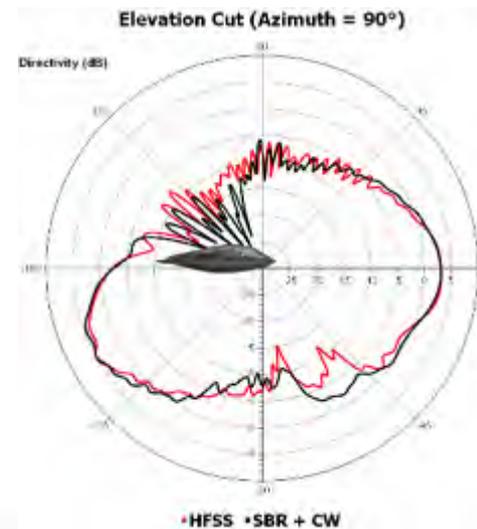
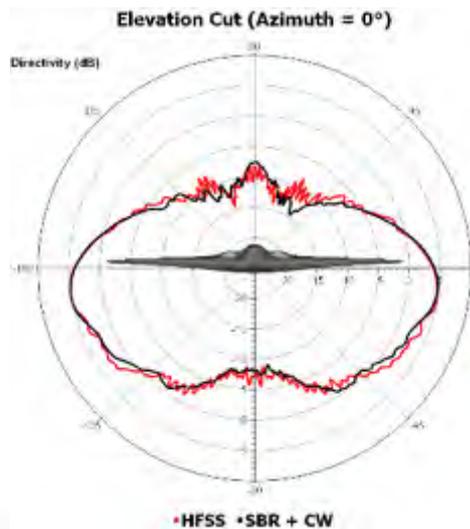
HFSS电流数据
导入Savant

$42\lambda \times 17\lambda \times 3.75\lambda$



Savant快速仿真大型安装环境

安装天线仿真时间
Savant: 12 分钟
HFSS: 195 分钟



Savant核心技术简析

- SBR+

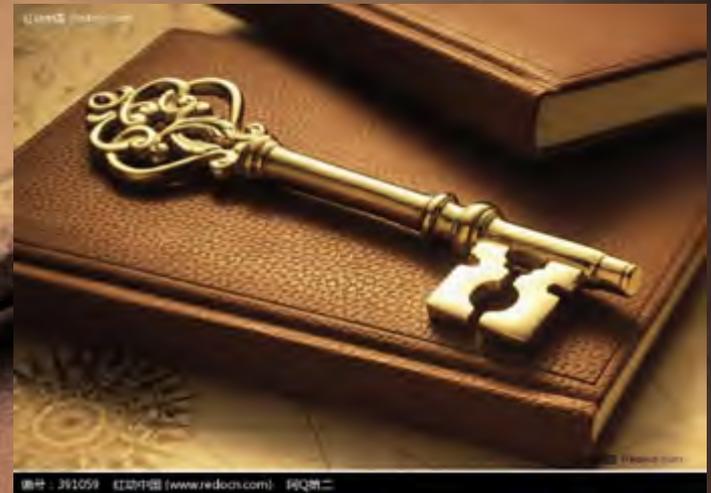
- 爬行波
- PTD
- UTD

- 内置天线模型

- 模型导入

- 材料属性

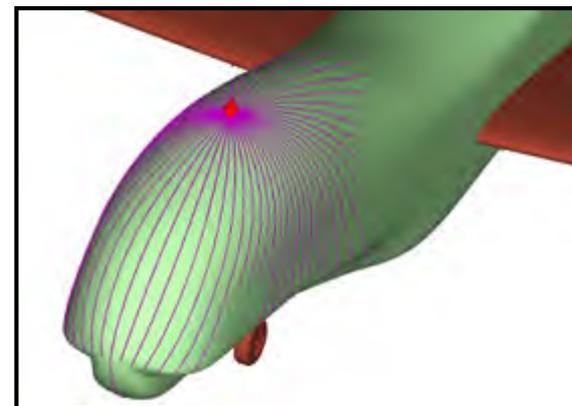
- HPC/MPI/GPU



技术简介: SBR+

- SBR = 弹跳射线法

- ✓ 电大平台问题的近似技术
- ✓ 相比全波算法更具潜力的仿真能力
- ✓ 将物理光学(PO)扩展为多次反弹的几何光学(GO)射线追踪



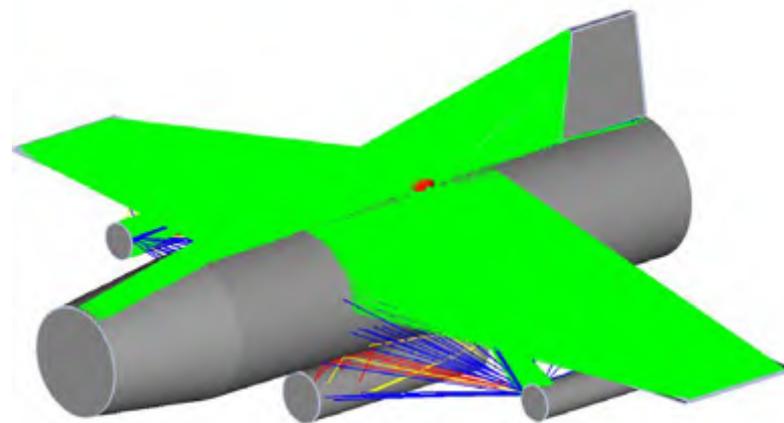
- SBR+ ?

- 基于SBR,考虑更多物理属性

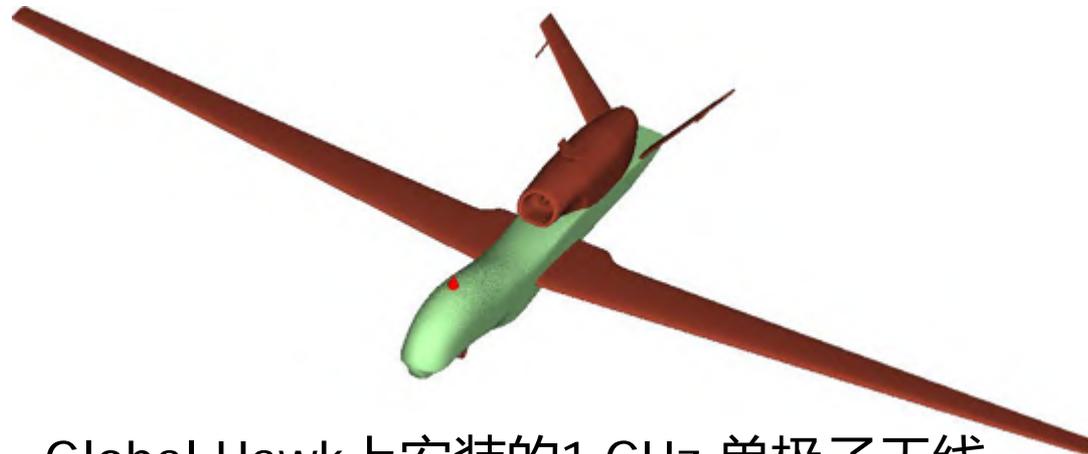
- ✓ 物理绕射理论 (PTD)
- ✓ 爬行波
- ✓ 一致性绕射理论(UTD)

- 驱动研发理念

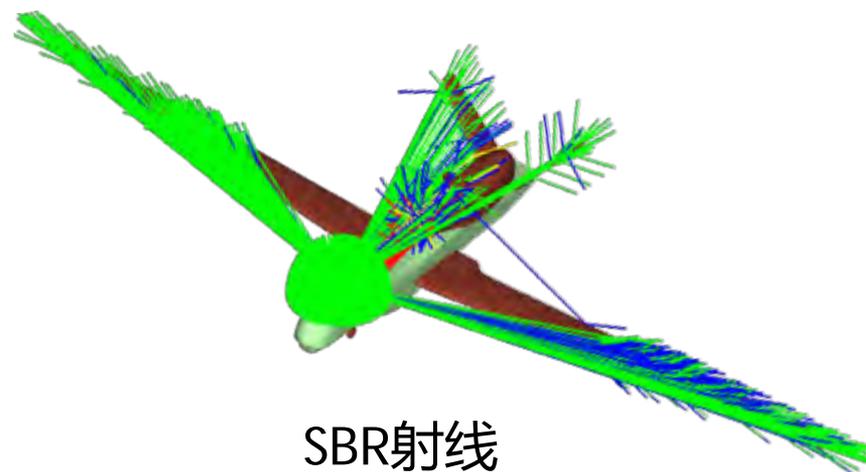
- ✓ 采用GTD/UTD方法全矩阵“绘制”
平台上电流分布
- ✓ 所有模型/结构共同工作



精度：爬行波

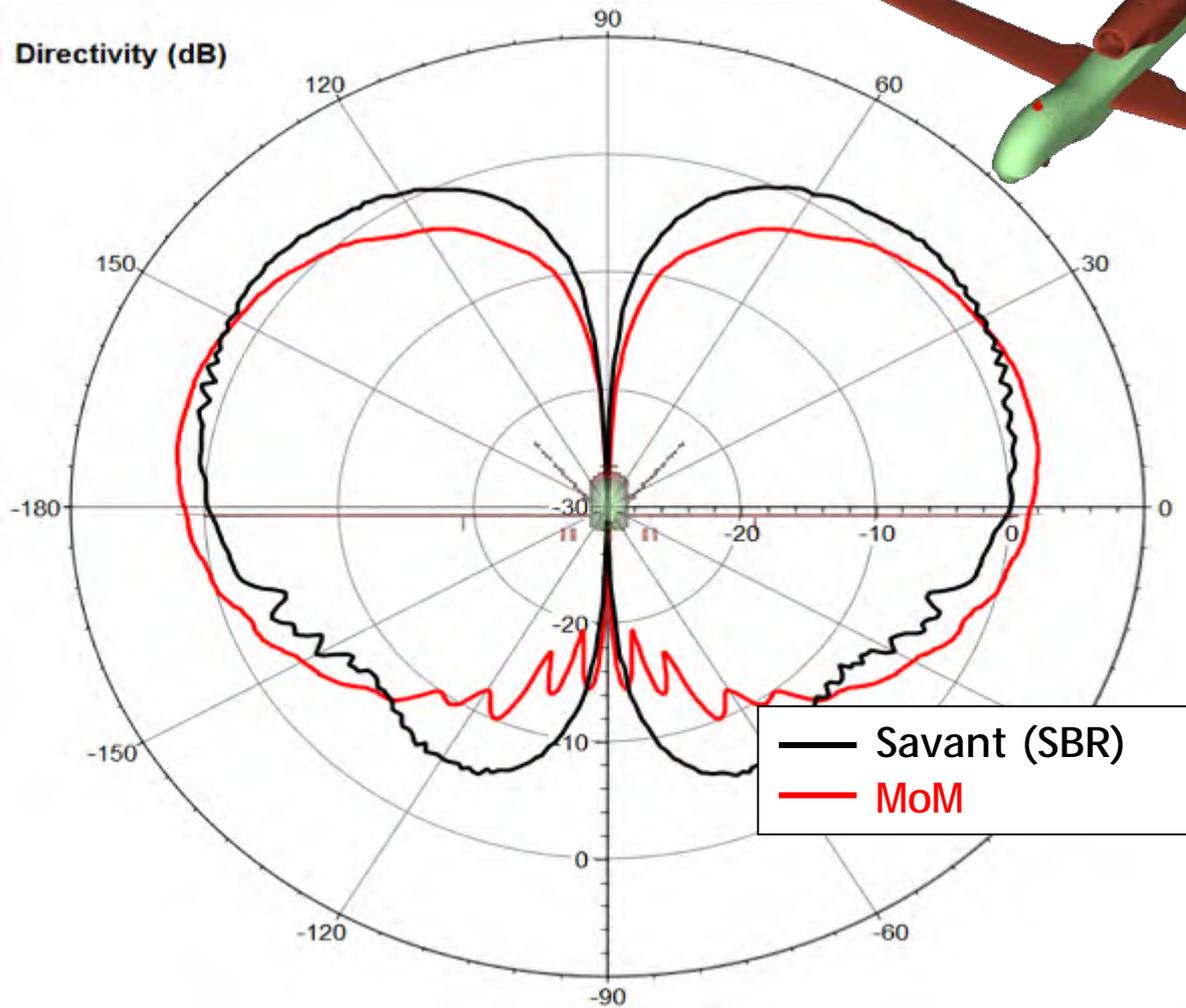


Global Hawk上安装的1 GHz 单极子天线

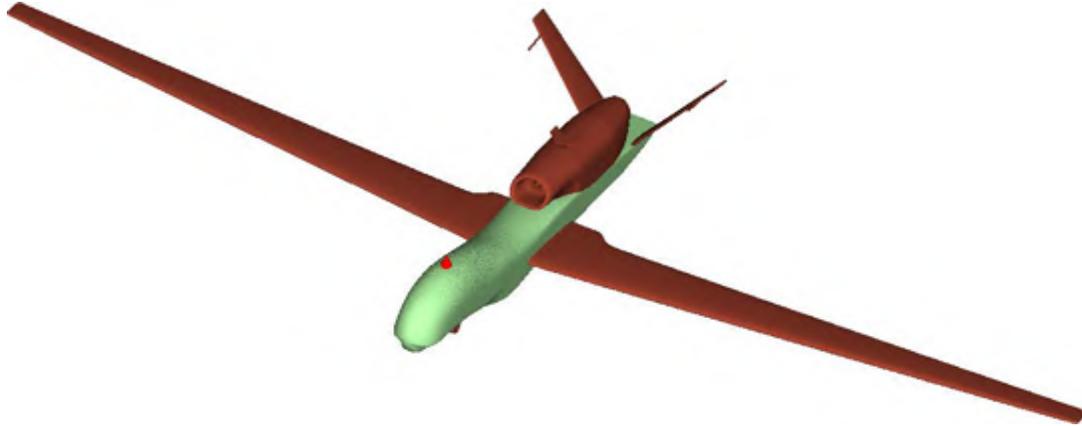


SBR射线

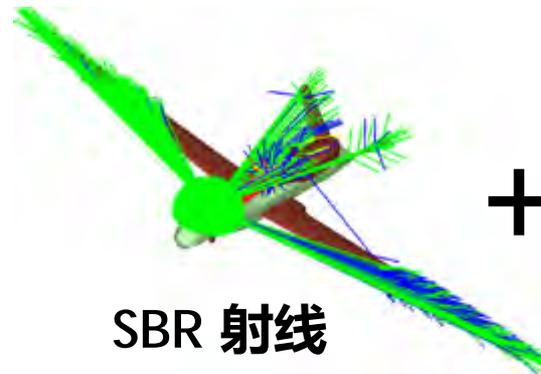
精度：爬行波



精度：爬行波

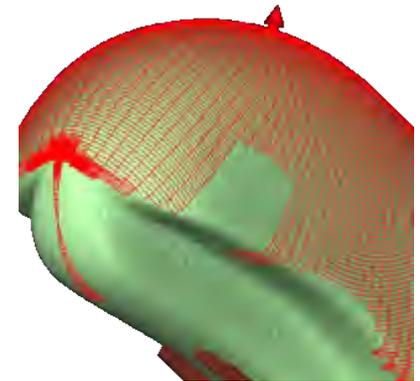


Global Hawk上安装的1 GHz 单极子天线



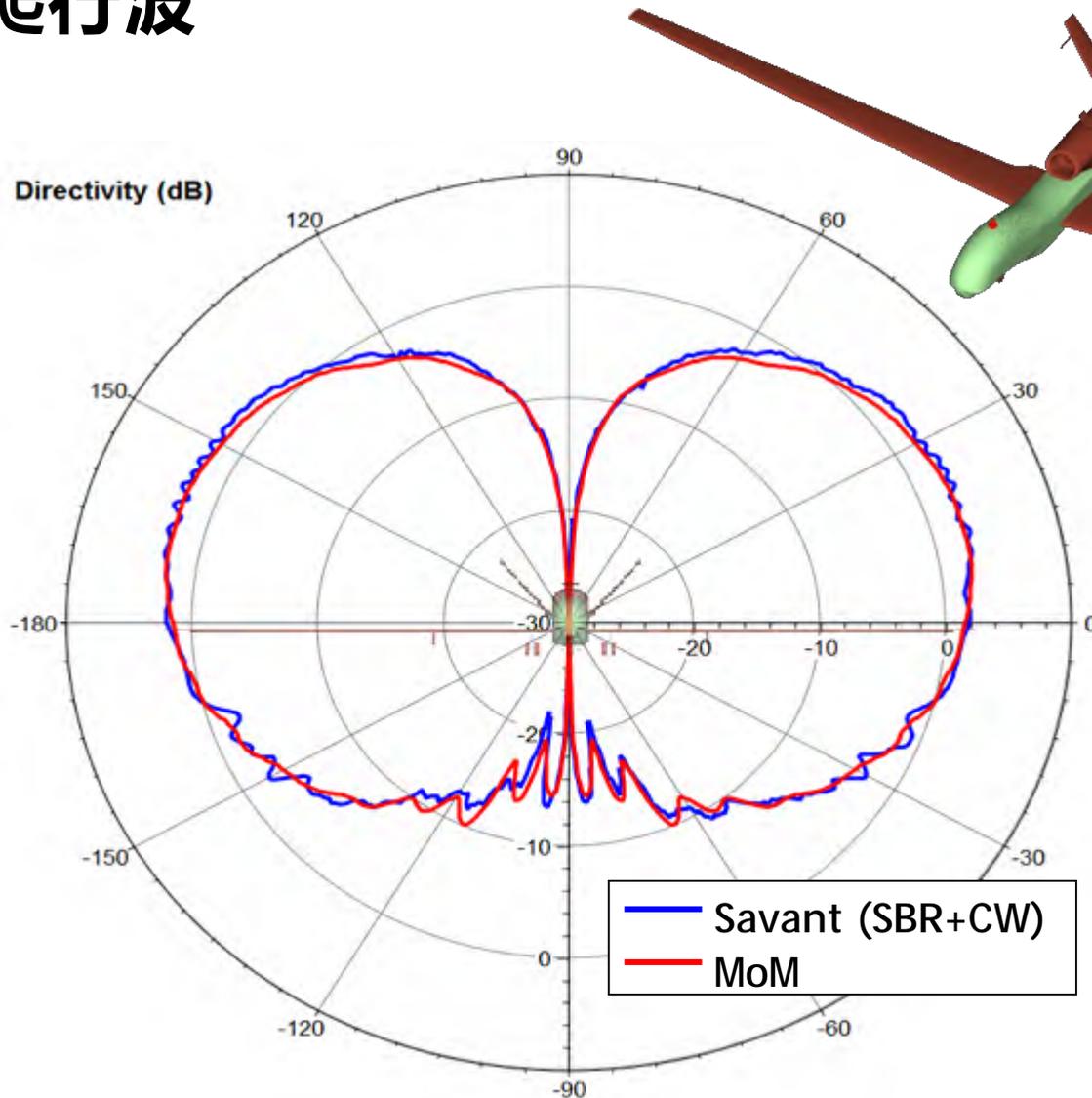
SBR 射线

+

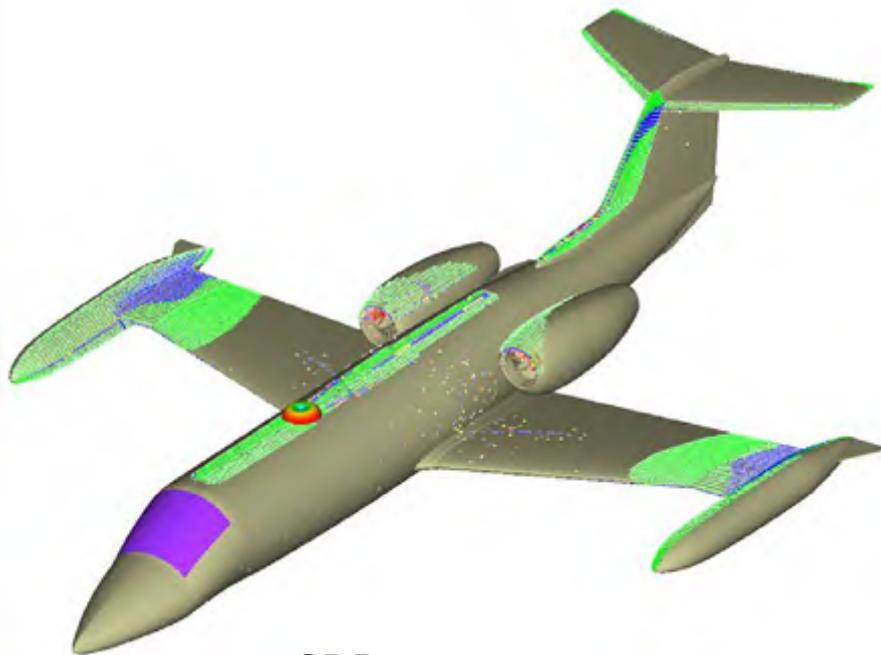


爬行波

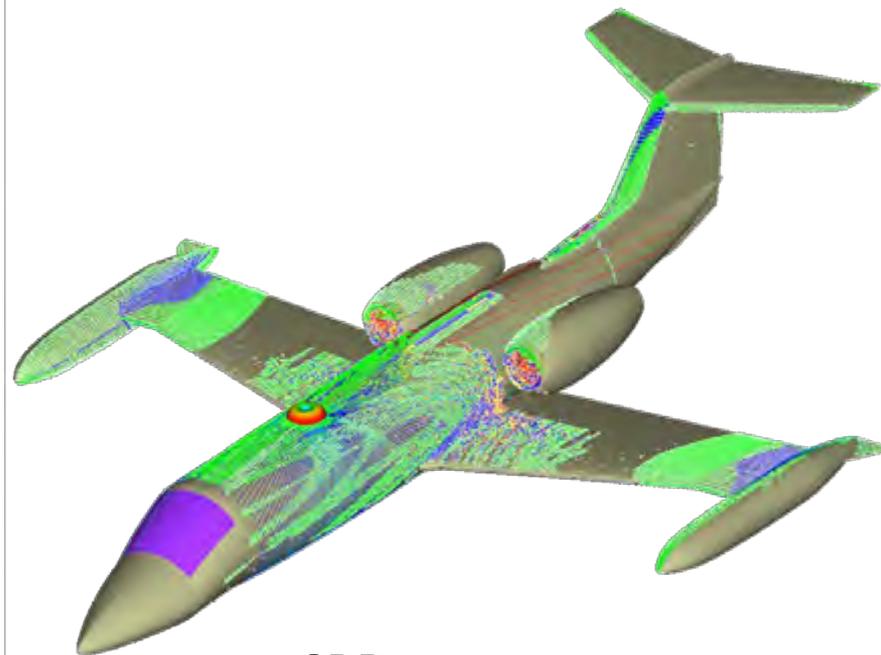
精度: 爬行波



SBR vs SBR+: 表面电流绘制



SBR



SBR+

从表面电流的描述可见：SBR+ 完胜 SBR

天线模型

- **Savant需要自由空间天线模型**

- 远场辐射方向图
- 电流源

- **内建参数模型**

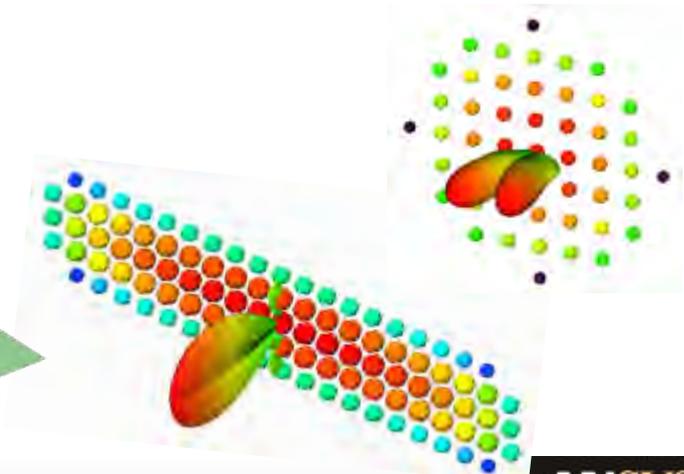
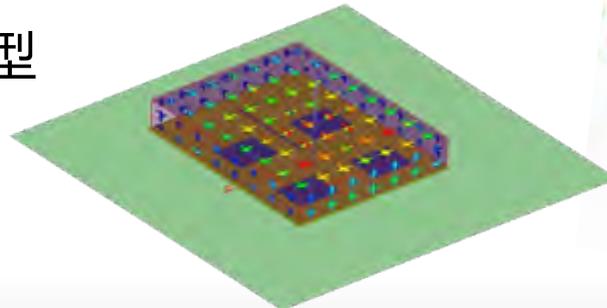
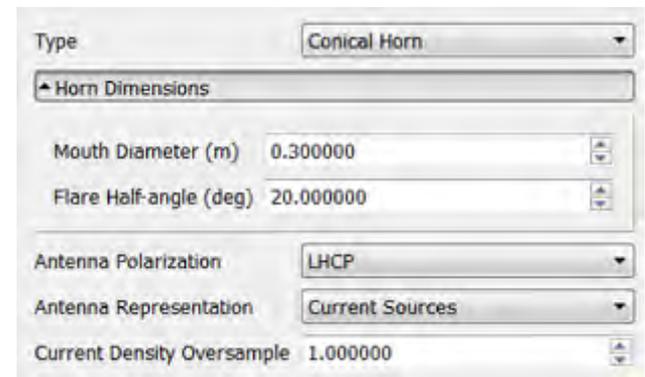
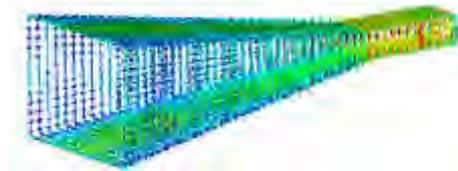
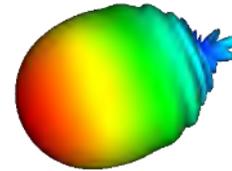
- 偶极子, 单极子, 环, 缝隙
- 锥台/圆锥喇叭
- 参数波束

- **阵列设计工具**

- 线阵, 矩形阵, 椭圆 & 由文件构建
- 单元幅相配置
- 单元远场或电流源

- **导入全波3D天线模型**

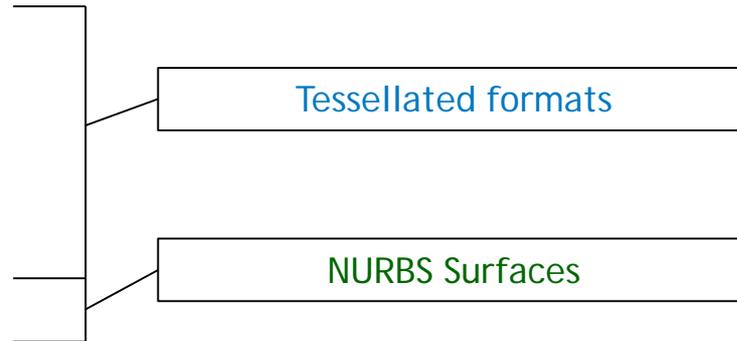
- HFSS
- CST
- FEKO



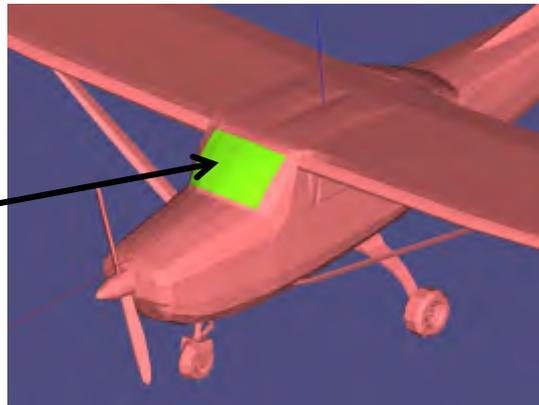
CAD 格式及涂敷材料处理

- 支持的CAD模型格式

- ACAD (.facet)
- Wavefront (.obj)
- Stereolithography (.stl)
- Gmsh (.msh)
- IGES (.igs or .iges)



- 涂敷材料定义及加载方式

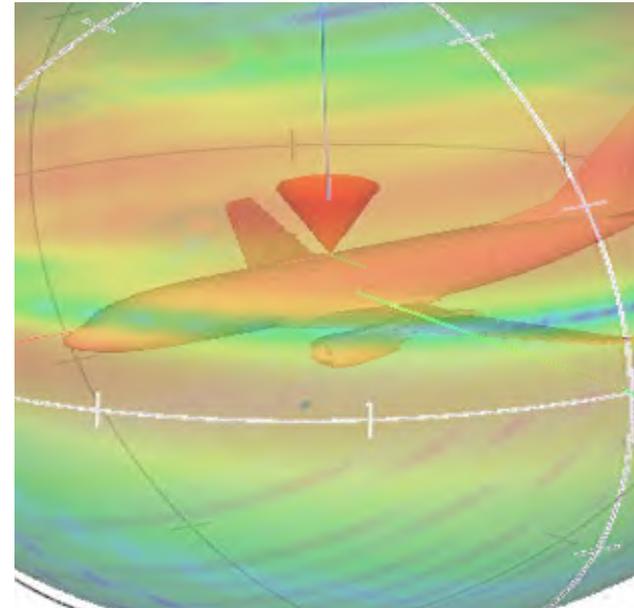


GPU 及 MPI 示例

• 737-800上的单极子天线

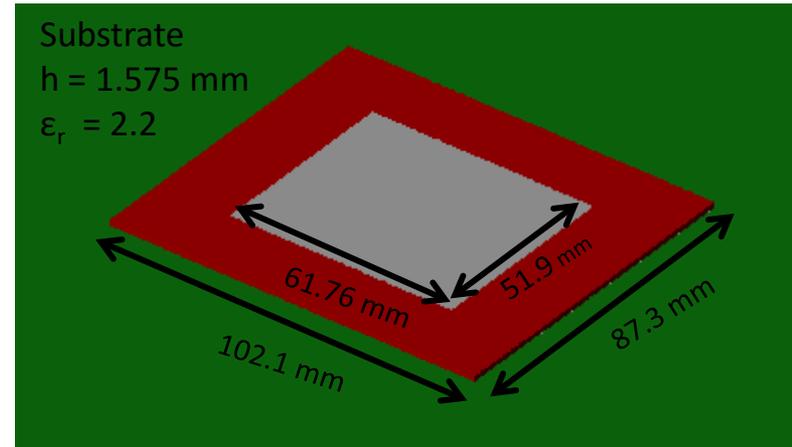
- 计算安装方向图
 - ✓ 40,000 角度计算点
 - ✓ 3 到 4 GHz, 40 MHz 步长
 - ✓ 747,820 条射线触及CAD模型
- 采用单CPU核:
12 hrs, 18 min
- 采用4个CPU核:
3 hrs, 12 min (4x)
- 采用1个 CPU核, 1个GPU:
10.7 min (> 70x)
- 采用4 CPU 核, 2个GPU:
6.2 min (>118x)

477 λ x 527 λ x 167 λ

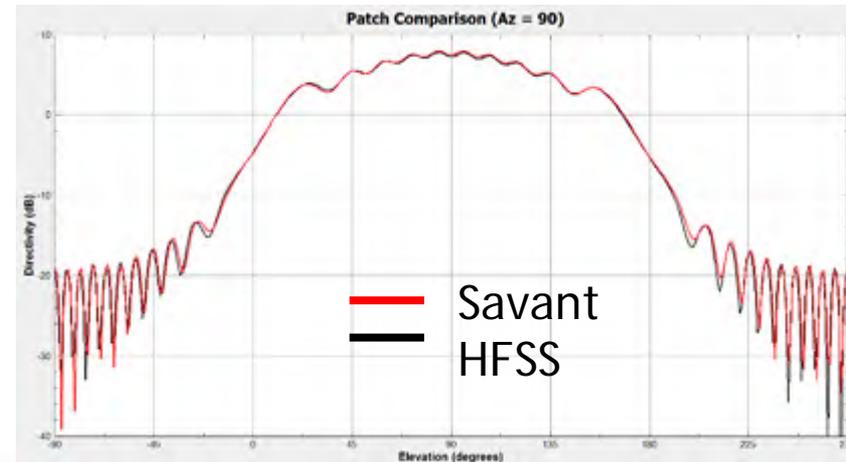
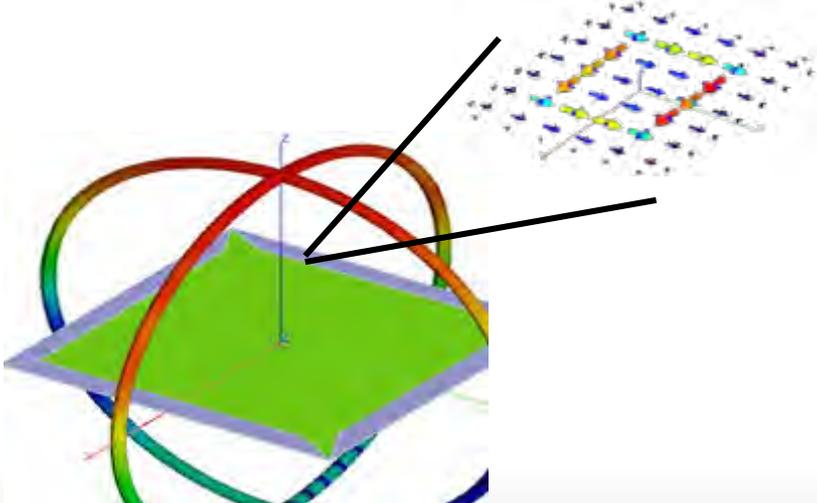


HFSS/Savant 集成仿真示例

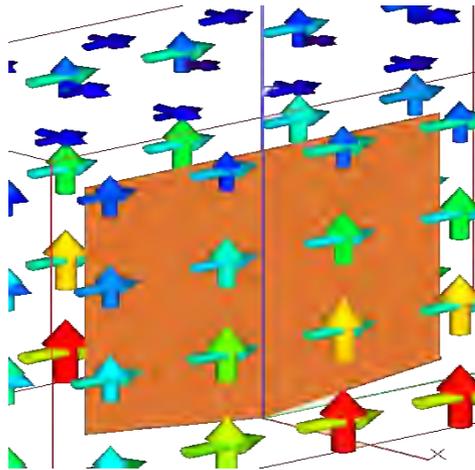
- 运行 HFSS 获得,
 - 近场数据
 - 远场数据
- 运行Savant,导入HFSS 电流源模型
- 比较远场结果



HFSS CSRC Model
272 sources



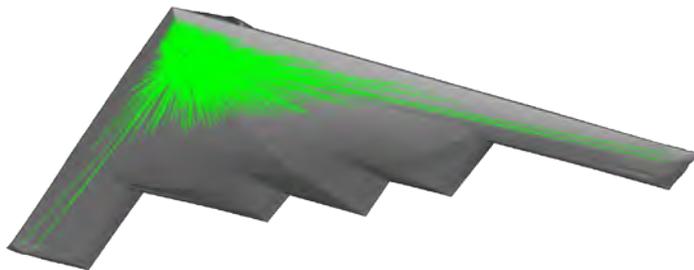
HFSS/Savant 集成仿真示例



250 MHz 单极子

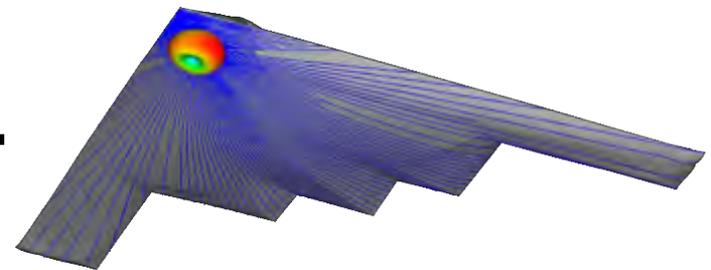


$42\lambda \times 17\lambda \times 3.75\lambda$



SBR

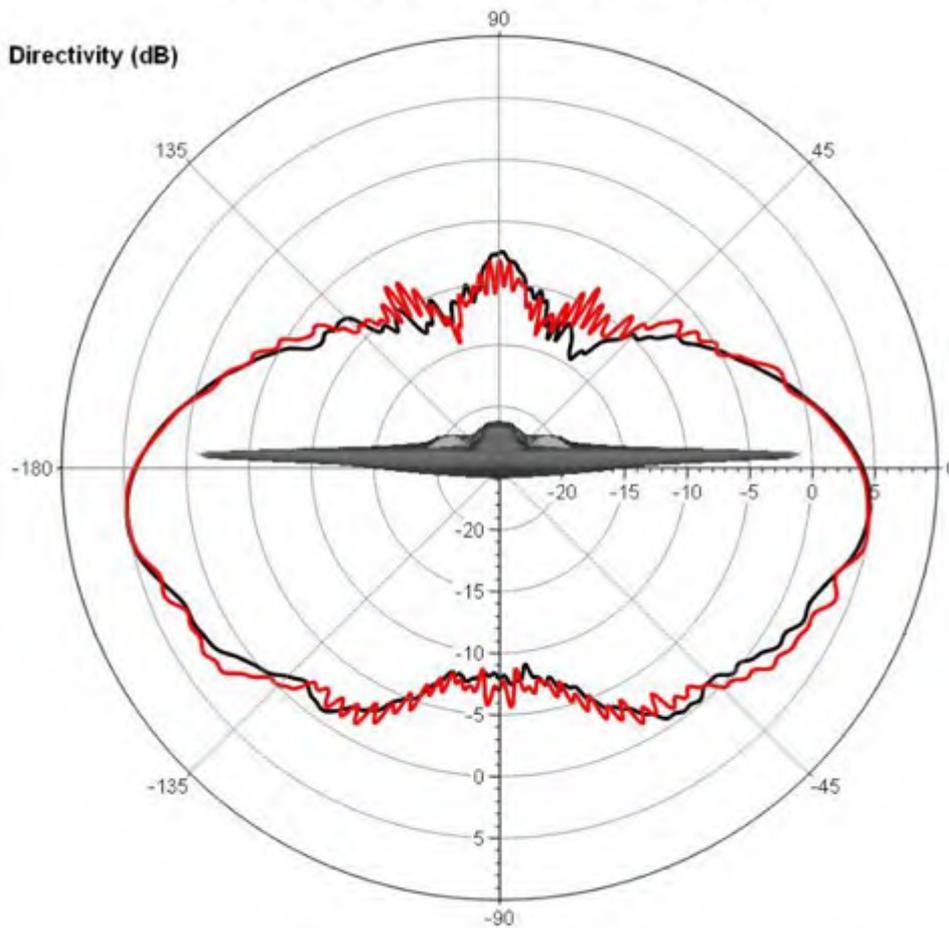
+



爬行波

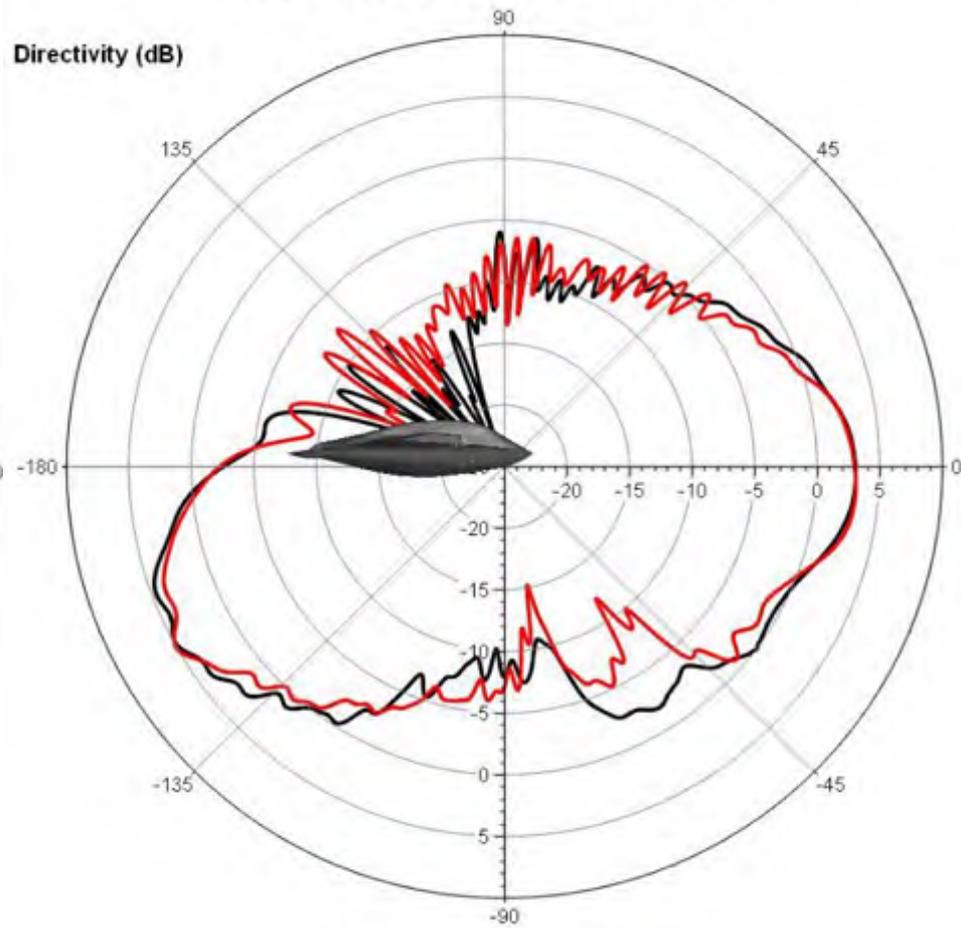
HFSS/Savant 集成仿真示例

Elevation Cut (Azimuth = 0°)



■ HFSS/Savant Hybrid ■ HFSS

Elevation Cut (Azimuth = 90°)



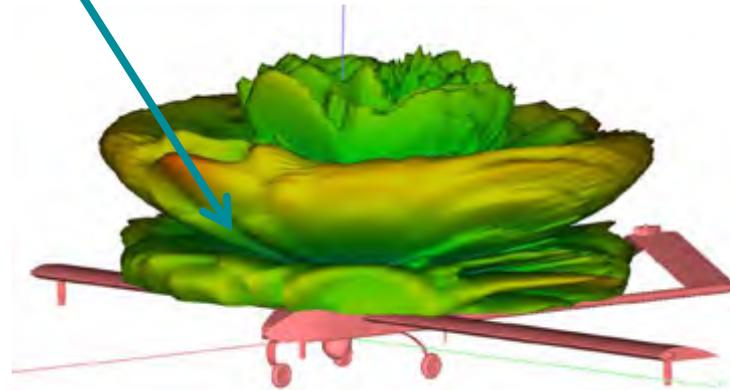
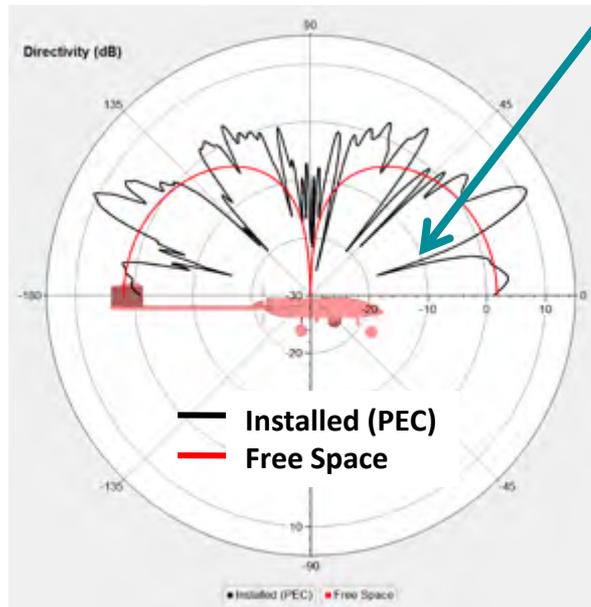
■ HFSS/Savant Hybrid ■ HFSS

无人机上天线布局分析

天线在自由空间辐射方向图与安装后有非常大的区别

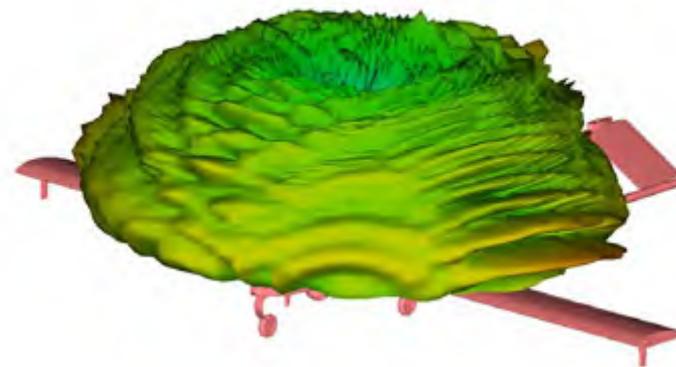
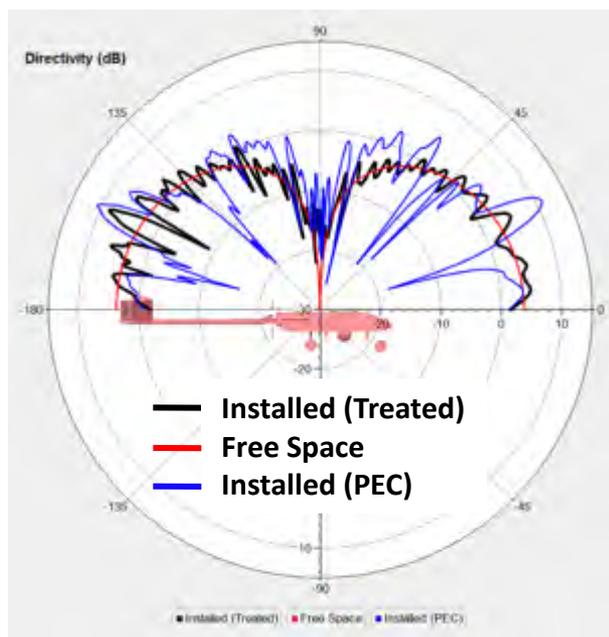
机身PEC

注意看17°位置——零深

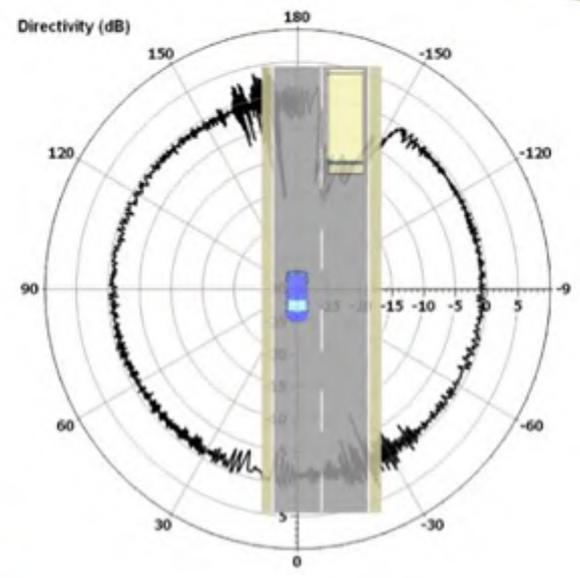
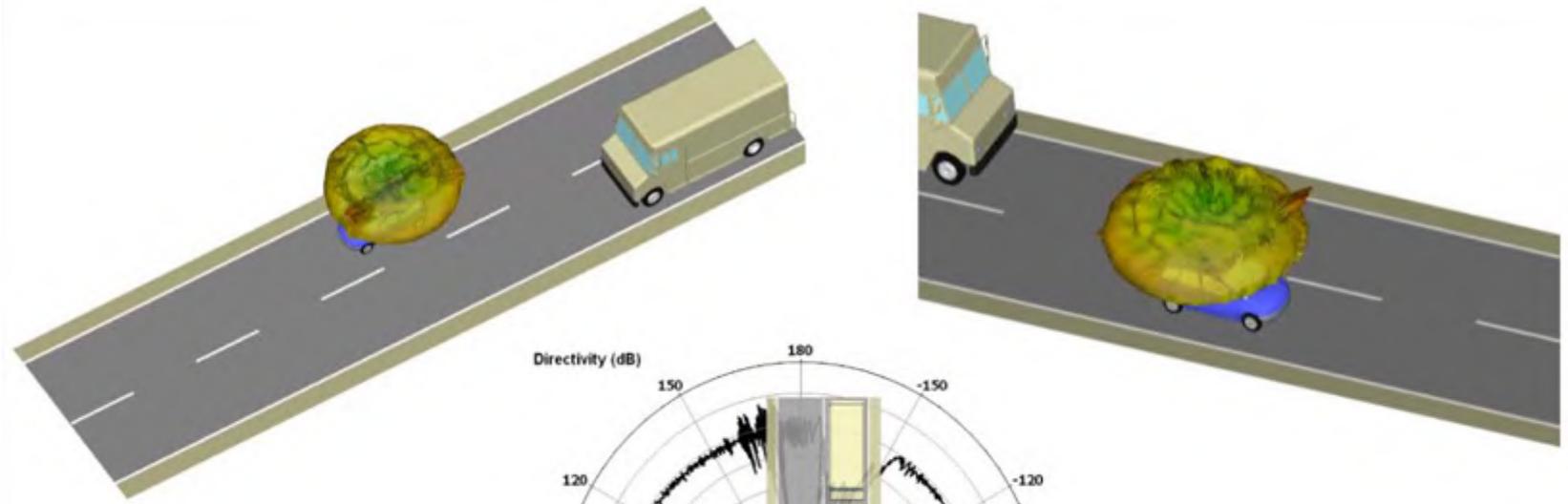


机身作了适当处理（结构，材料）

- 明显改进了很多位置的零深 (但还不是全部)
 - 其他部件依然会导致零深效应，本例没做处理

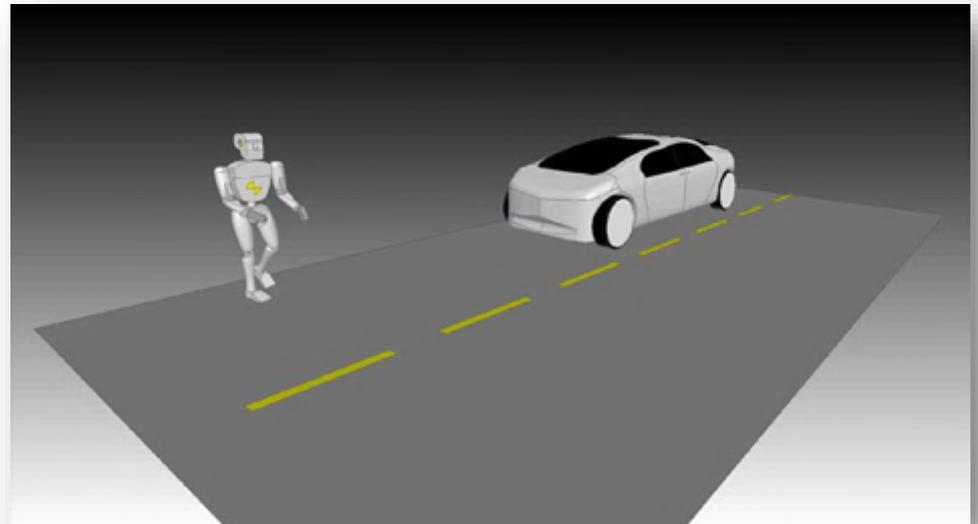


汽车场景分析：超车过程中车载天线性能分析



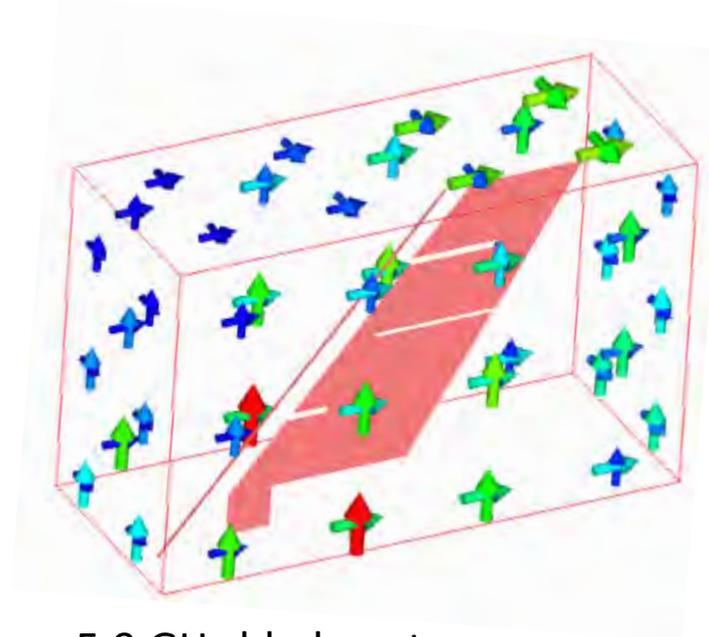
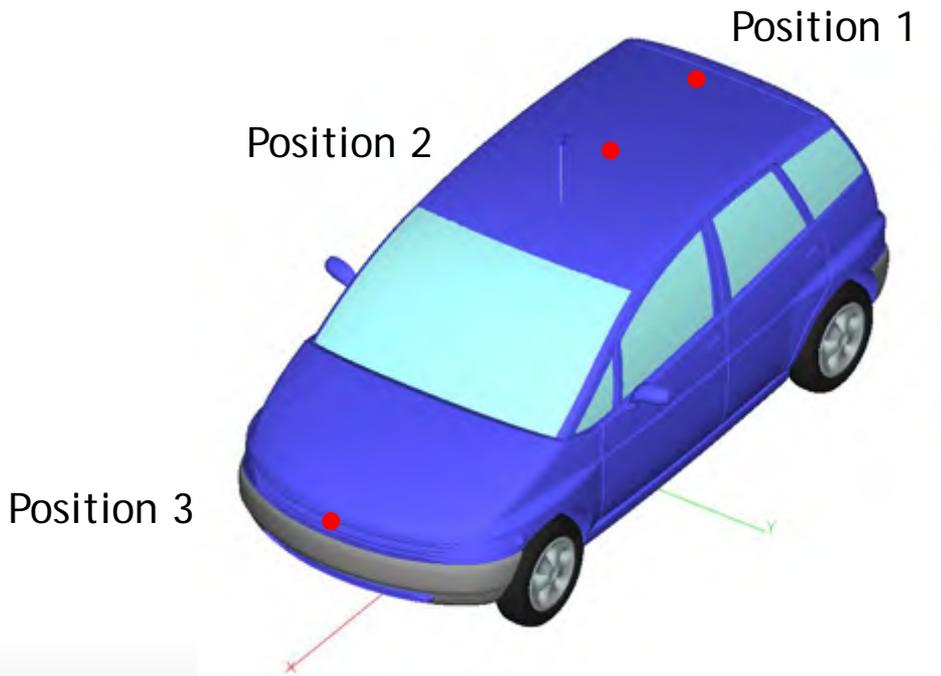
车辆间通信案例

- **DSRC/IEEE 802.11p**
 - ITS band of 5.9 GHz (5.85-5.925 GHz)
 - 专用短程通信技术(DSRC)
 - 车辆间的跳频、点对点通信
- **应用**
 - 高速公路ETC
 - 道路车辆安全
 - 道路导航支持
 - 基于位置信息的商业应用
- **挑战**
 - 复杂的情况
 - 动态场景



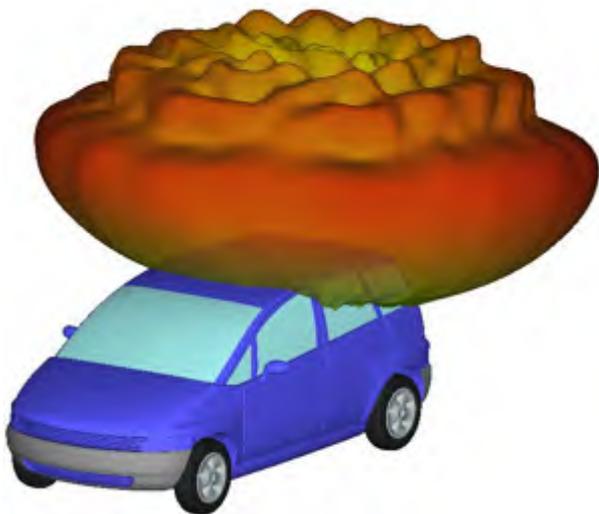
车载天线布局研究

- 针对在汽车上的天线不同放置位置计算远场方向图和近场场分布
 - 3.8 x 2.1 x 1.56 meters
 - 74.7 x 41.3 x 30.7 λ at 5.9 GHz

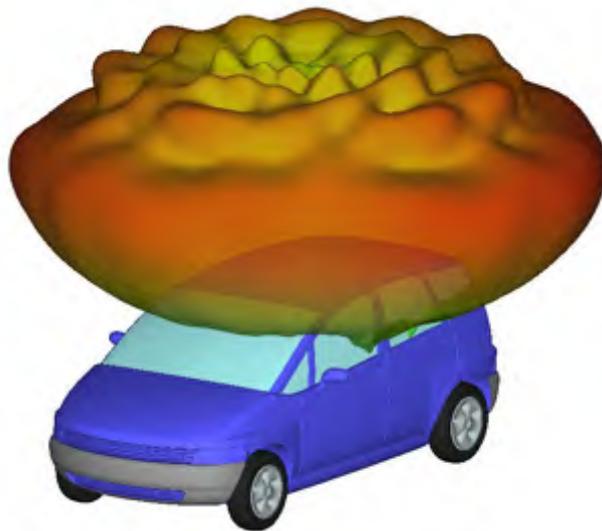


5.9 GHz blade antenna designed in HFSS, Near-fields imported to Savant

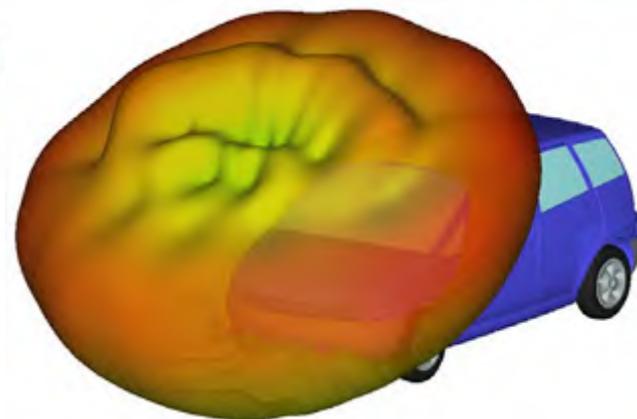
远场结果



Position 1

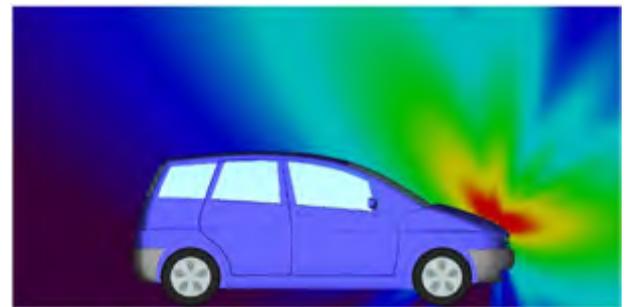
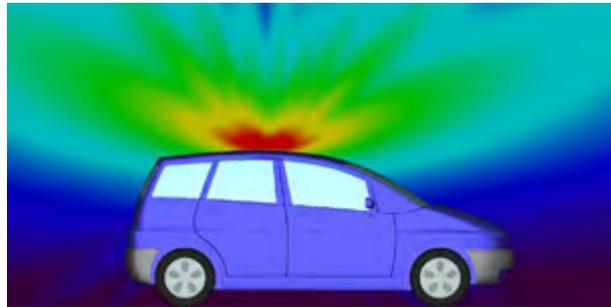
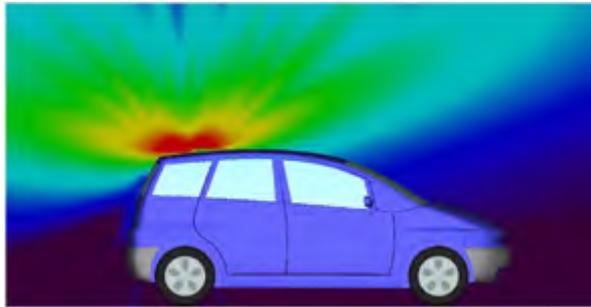


Position 2

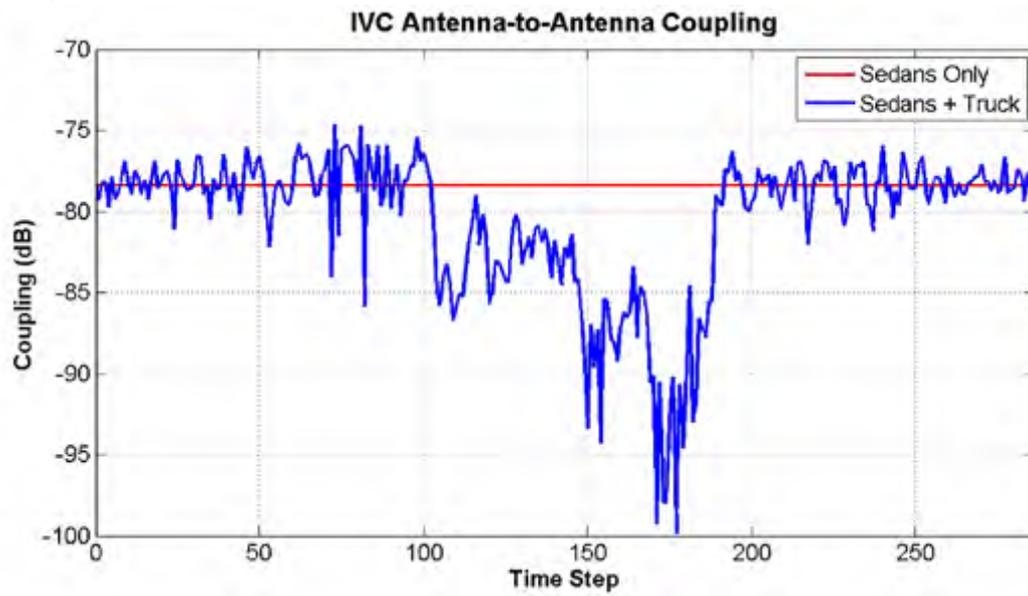
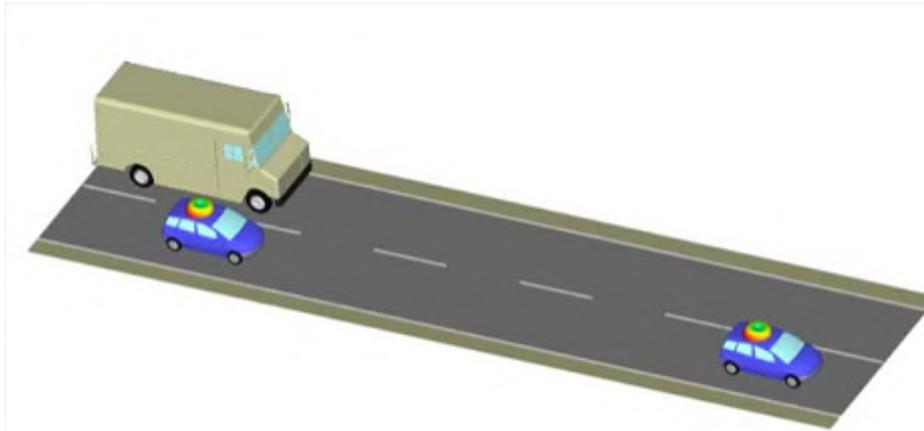


Position 3

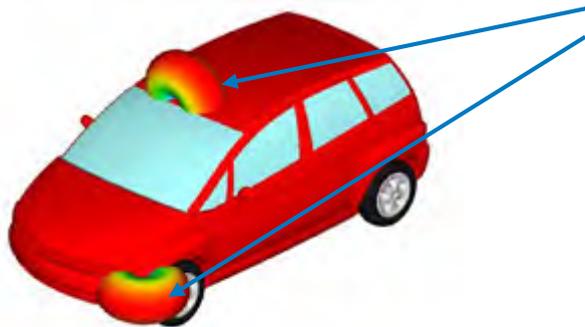
近场结果



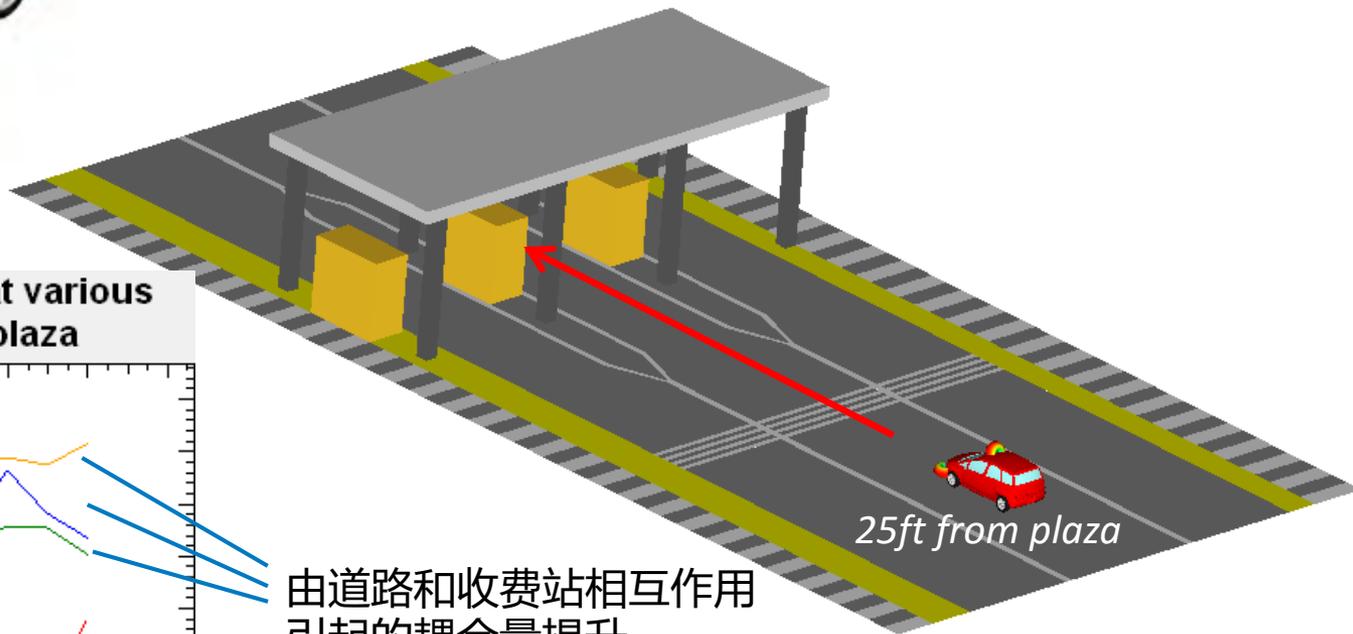
天线耦合结果



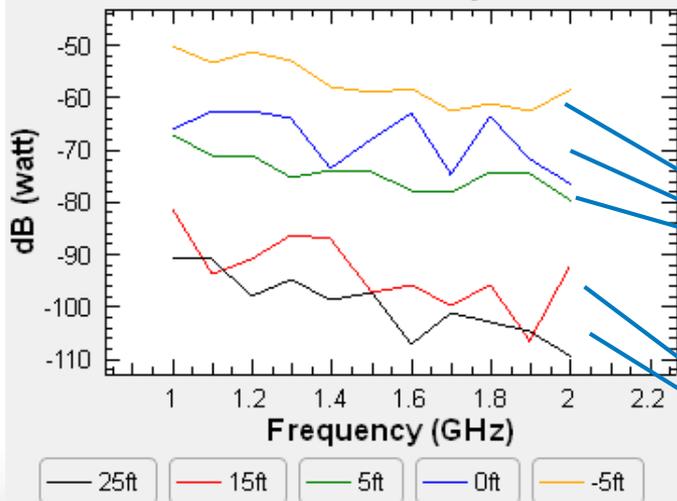
车载多传感器隔离度评估



- 两幅天线代表车上不同位置处的传感器，之间有隔离度要求
- 反射/散射环境对传感器之间的隔离度带来什么影响？



Antenna coupling at various distance from plaza



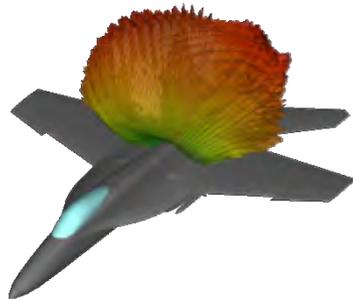
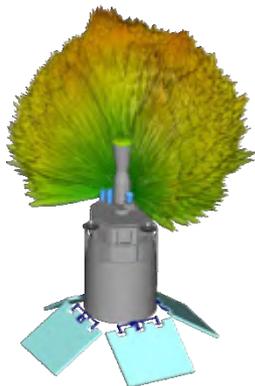
由道路和收费站相互作用引起的耦合量提升

距离收费站较远的情况下，耦合度最弱

Savant总结

求解

- 平台上天线性能
- 对HFSS来说太大的问题



技术

- 射线追踪
 - 弹跳射线法(SBR)求解器
- 混合求解技术
 - HFSS 全波求解器
 - 测试数据
- HPC 加速

应用

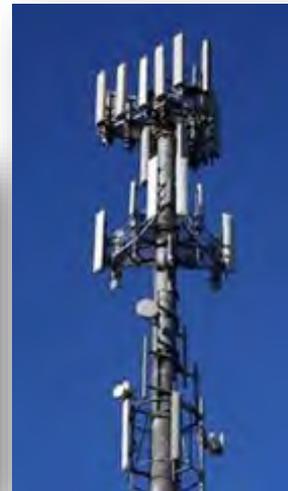
- 天线布局, 天线系统集成
- 天线罩
- 相控阵
- 空间/卫星
- 无人系统
- 反射面天线
- EMI/EMC
- Etc.

整车射频系统抗干扰仿真设计方法

无线通信系统的发展

多个射频系统共址布局在同一个环境中

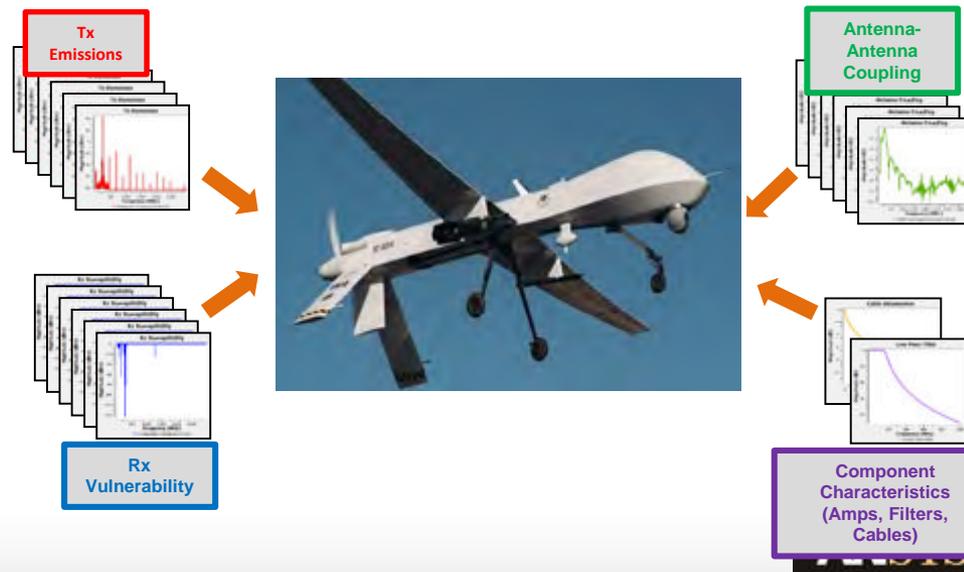
- 多样的系统特性：
 - 超宽的频率范围
 - 丰富的功率电平
 - 复杂的调制类型
- 各系统需要同时运行，且无干扰
- 有一些经验方法来实现和平共处，但却很难找到最佳的解决方案



射频共址抗干扰仿真面临的挑战

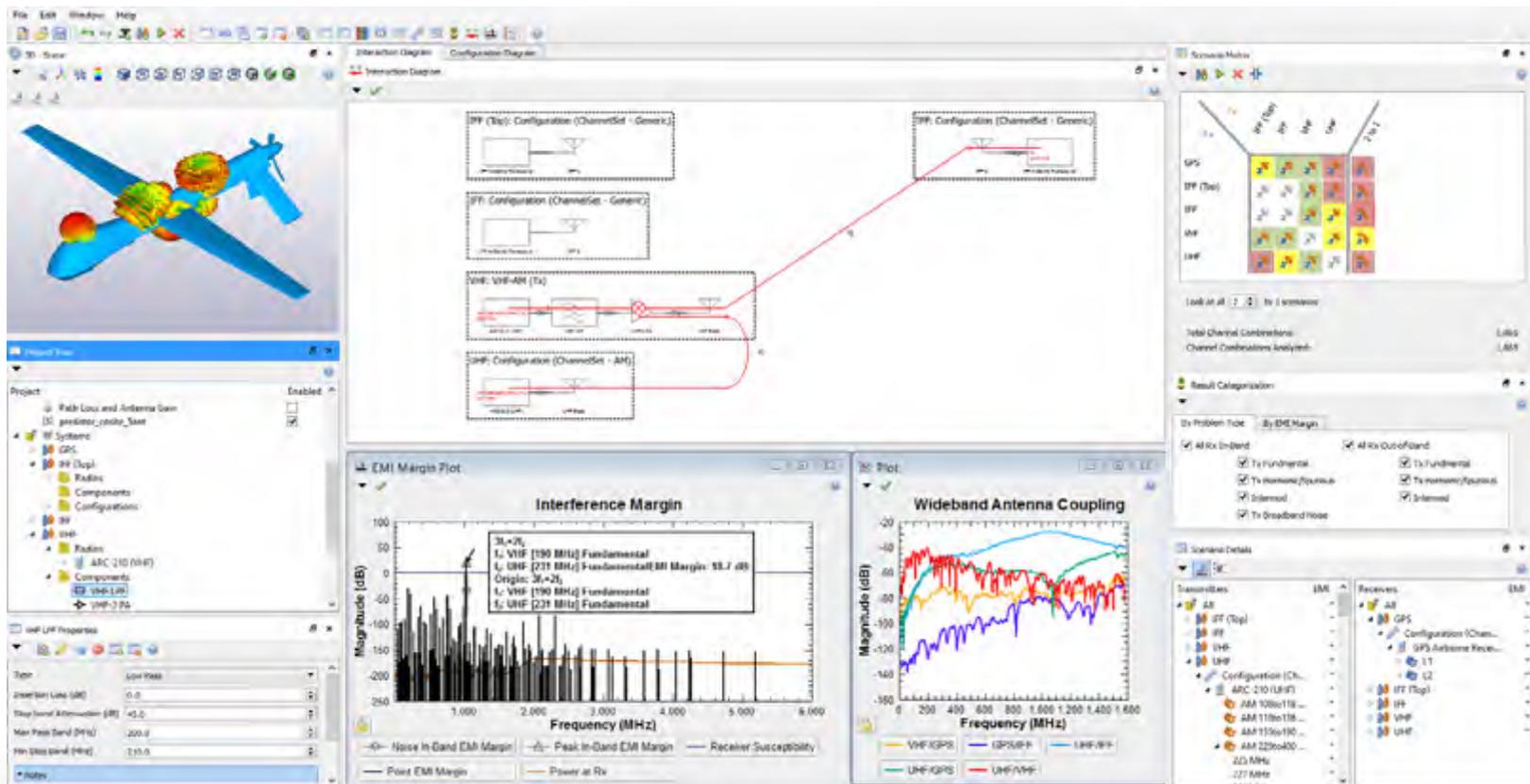
系统级共址射频干扰仿真面临的**最大挑战**在于对所有输入参数、模型结构、输出数据以及可视化结果的管理

- 整个射频通信系统包括非常丰富的不同种类以及不同保真度的输入参数；
- 系统级共址射频干扰仿真通常不会等到高保真数据都齐全时才进行；
- 随着仿真过程的深入，系统数据参数和环境载体模型数据也在随之更新；
- 难以得到考虑载体平台影响的不同系统天线之间的精准耦合量；
- 自动化结果诊断功能对干扰问题的定位和解决至关重要；



ANSYS系统级射频干扰仿真平台：EMIT

- **管理** 系统性能数据
- **仿真** RFI/EMI 效应
- **定位** RFI/EMI 根因
- **解决** RFI/EMI 问题



管理系统性能数据

无线电系统模型

收发机

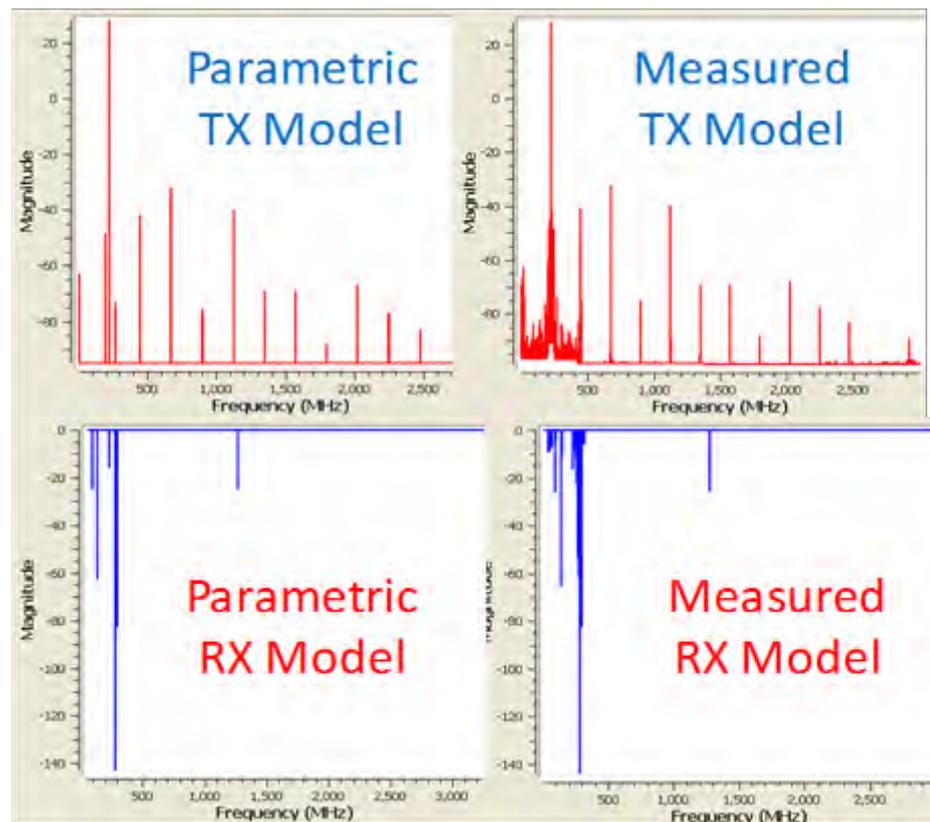
- Libraries
- Transceivers
 - ARC-164(V)
 - ARC-210-RT-1851A(C)
 - ARC-210-RT-1939(C)
 - AVQ-30X
 - Blue Force Tracker Manpack
 - Blue Force Tracker Vehicular
 - CDL Airborne
 - CDL Surface
 - Collins 618T-2
 - Collins 621A-6
 - DPN-90(V)2
 - HAVEQUICK Airborne
 - HAVEQUICK Manpack
 - HAVEQUICK Vehicular
 - IFF Airborne Transceiver
 - King KTR 9000
 - LT401
 - MD400C
 - MD401C
 - Mini UAS Video RT Airborne
 - Mini UAS Video RT Ground
 - PCS 1900 Base Station
 - PCS 1900 Mobile
 - PRC-117G-RT-1949(P)(C)
 - SINGARS Airborne
 - SINGARS Manpack
 - SINGARS Vehicular
 - UHF Ground
 - UHF Manpack
 - UHF Vehicular
 - UHF_VHF FM Comms
 - VHF Ground
 - VHF Manpack
 - VHF Vehicular
 - WIFI

发射机

- Transmitters
 - QSX-V-SR-110-20S-20-6A-LS-W...
 - ST-2005S
 - T-711
 - T-715
 - TC-09E1A1502-00

接收机

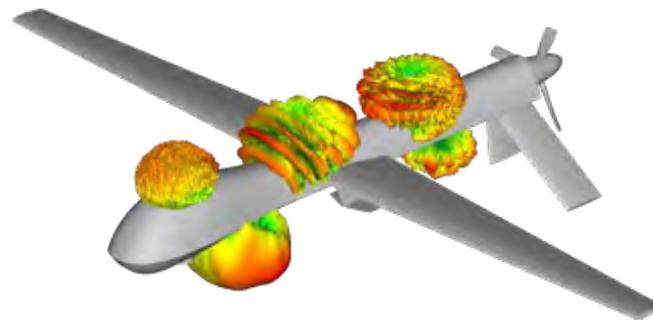
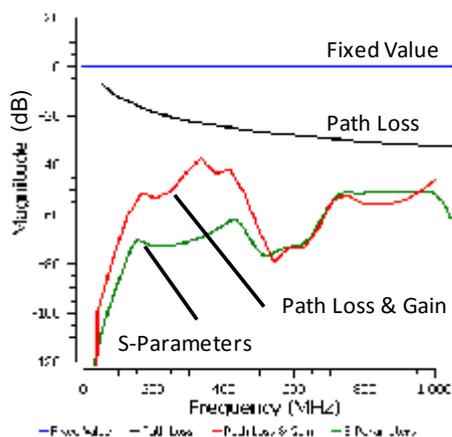
- Receivers
 - CR-123
 - CRD-120-205
 - GPS Airborne Receiver
 - GPS Manpack Receiver
 - Honeywell HT9100 GPS
 - QSX-RDMS-1100-AB
 - SIGI - Trimble Force 5
 - Trimble TNL 3000



管理系统性能数据

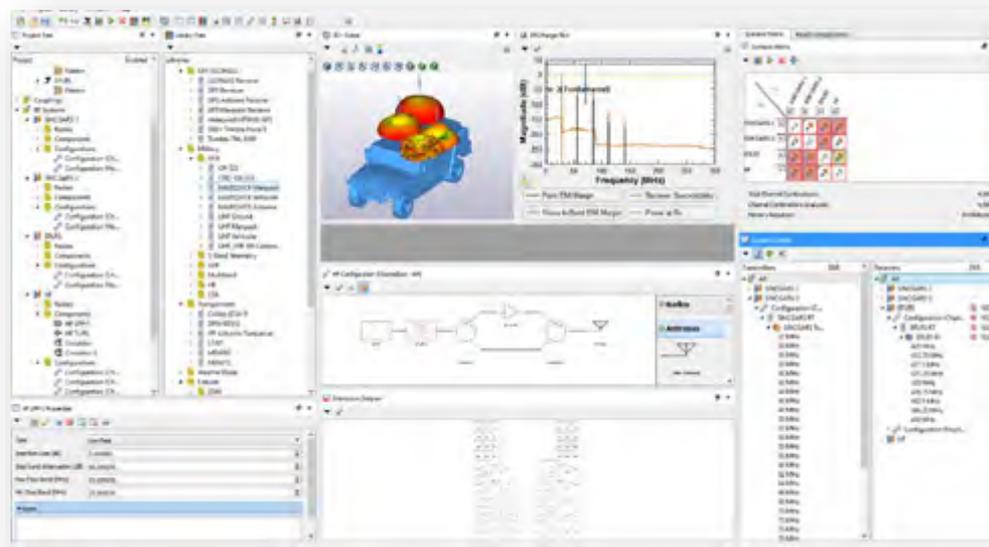
天线耦合模型

- **恒定耦合**：耦合量为设定的与频率相关的常数（用户指定值）
- **路径损耗**：耦合量为基于自由空间内天线之间的路径损耗
- **路径损耗 + 增益**：自由空间内天线之间的路径损耗以及相对方向上的增益计算得到的耦合量
- **s参数**：通过测试或EM仿真工具（HFSS、Savant等）获得的宽带s参数表征耦合量

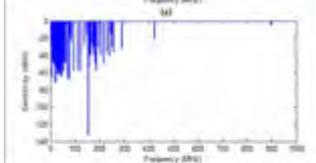
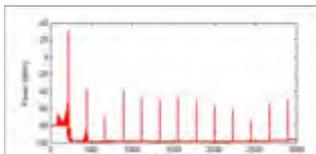


管理系统性能数据

Installed Antenna Modelling



Measurements



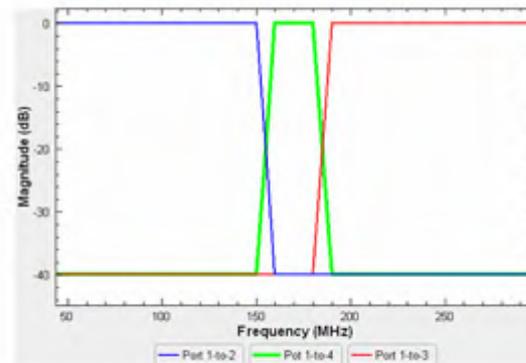
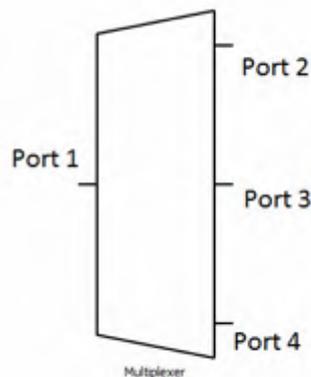
EMIT对天线耦合模型和测试数据的管理

管理系统性能数据

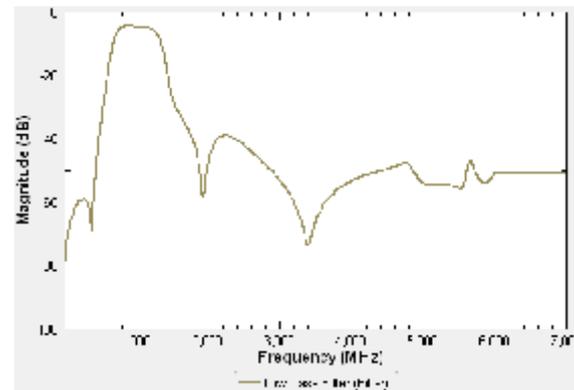
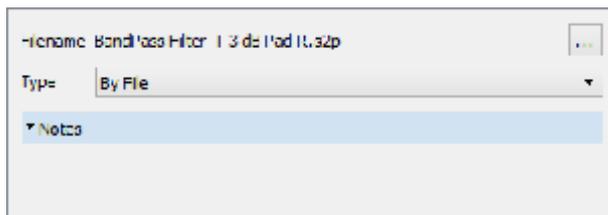
射频器件模型

- 滤波器
 - 低通/高通/带通
 - 带阻
 - 固定
 - 可调谐/跟踪
- 多工器 (N端口)
- 线缆
- 环形器
- 隔离器
- 功分器
- 放大器

Built-in Parametric Models

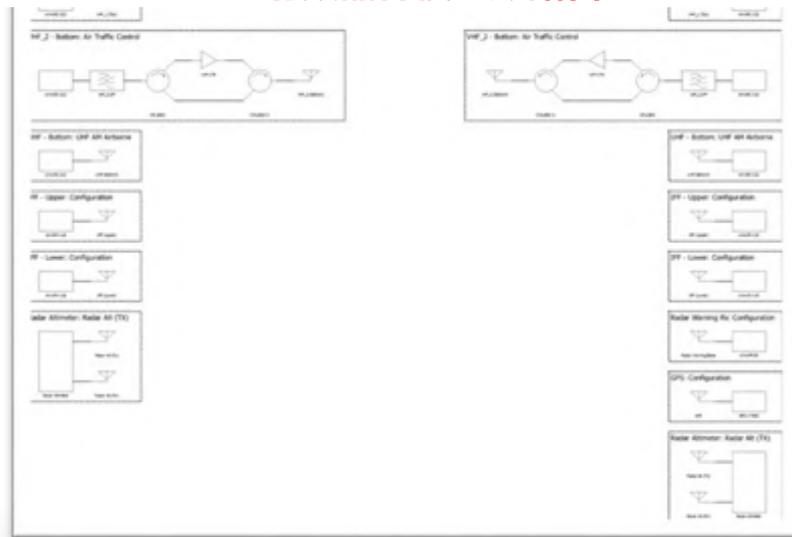
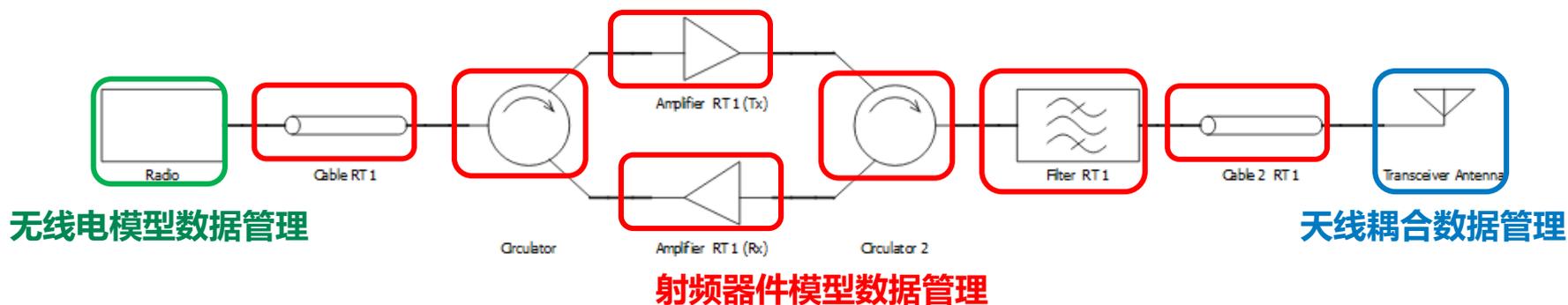


Imported Data Models



多射频系统共存的复杂环境建模

- 基于对无线收发信机、射频器件以及天线之间耦合量等丰富的数据管理能力，EMIT可以实现对多射频系统共存的复杂环境建模。



仿真 RFI/EMI 效应

• 完整RF系统建模

- 单个或多个发射机仿真模式

• 线性和非线性分析

- 接收机互调
- 发射机互调
- 放大器饱和

• 包含宽带效应

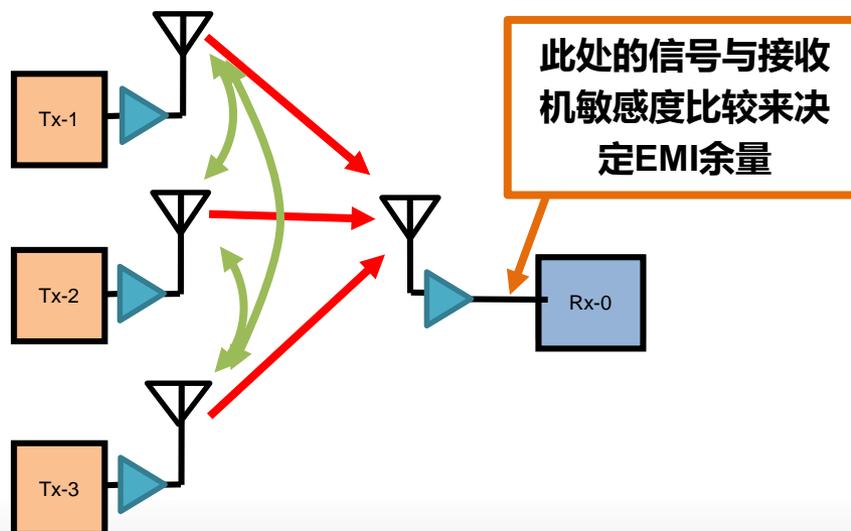
- 带内或带外干扰

对于固定信道系统：

- 峰值带内EMI余量
- 噪声带内EMI余量
- 宽带点频EMI余量

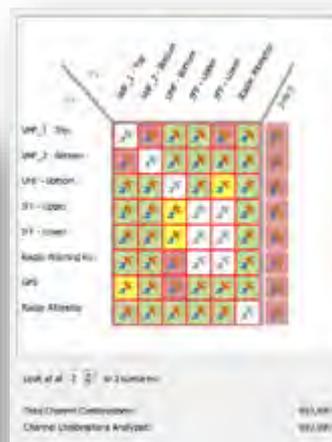
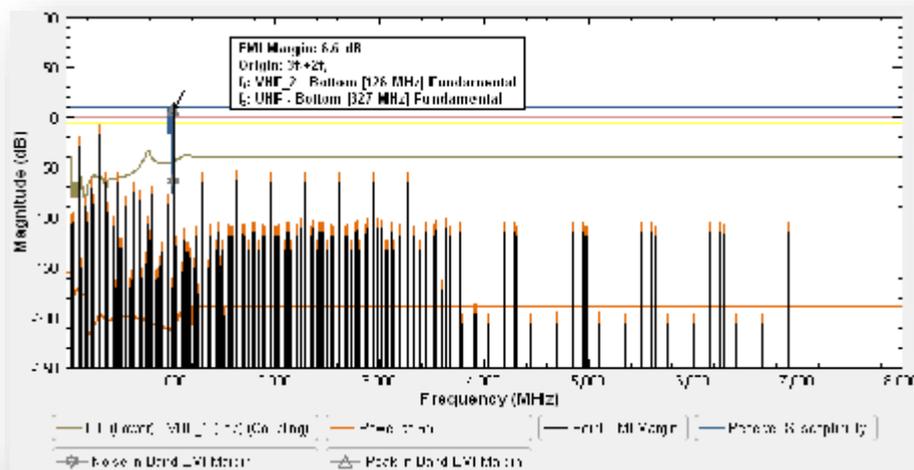
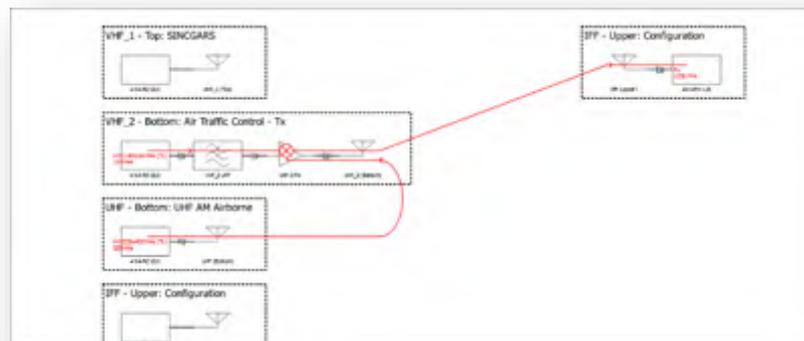
对于跳频系统：

- 随机分析模式



定位 & 解决 RFI/EMI 问题

- 现实的RFI场景非常复杂：
 - 可能会考虑到数十个RF系统
 - 需要考虑的潜在杂散、谐波、交调分量可多达上百万个
- 求解结果需达到如下要求：
 - 自动识别定位问题的根源所在
 - 可以对适当的优化方案进行快速探索



By Margin: By EMI Margin

All In-Band All Out of Band

Fundamental Fundamental

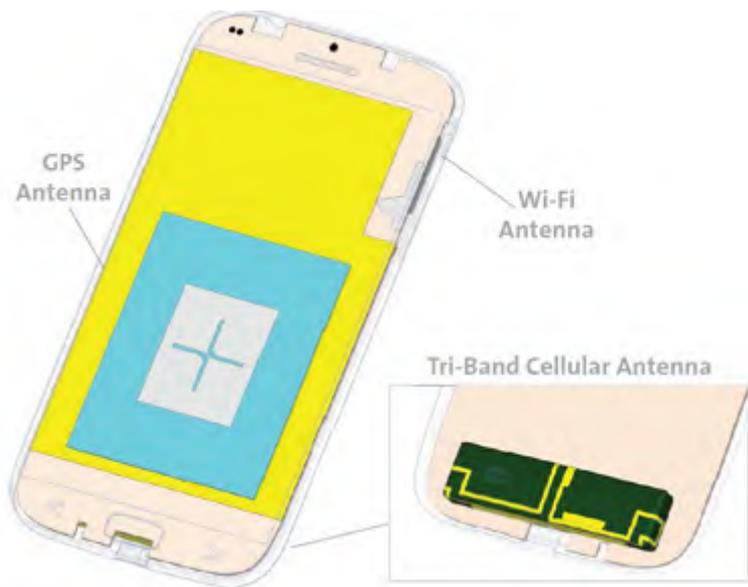
Harmonic/Spurious Harmonic/Spurious

Intermod Intermod

Broadband Noise

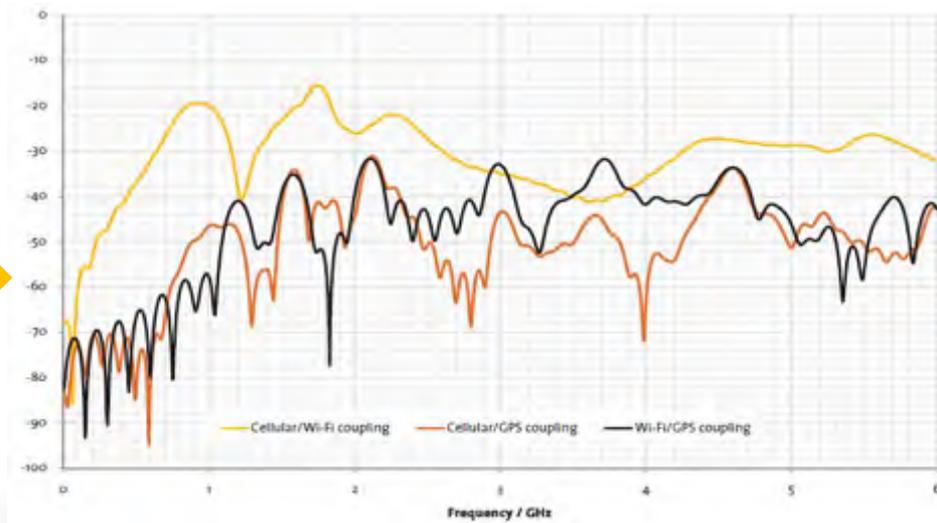
Transmitters	EM	Receivers	EM
All	77.3	All	77.3
VHF_1 - Top: SINGARS	77.3	VHF_1 - Top: SINGARS	22.0
VHF_2 - Bottom: Air Traffic Control	22.0	VHF_2 - Bottom: Air Traffic Control	77.3
UHF - Bottom: UHF AM Airborne	64.0	UHF - Bottom: UHF AM Airborne	-1.5
SPF - Upper: Configuration	6.2	SPF - Upper: Configuration	-6.4
RF - Lower: Configuration	6.2	RF - Lower: Configuration	-4.9
Radar Altimeter	6.2	Radar Altimeter	0.9
Radar Altimeter (TR)	6.9	Radar Altimeter (TR)	54.0
		GPS	52.1
		Configuration	52.2

案例：手机多射频系统干扰分析

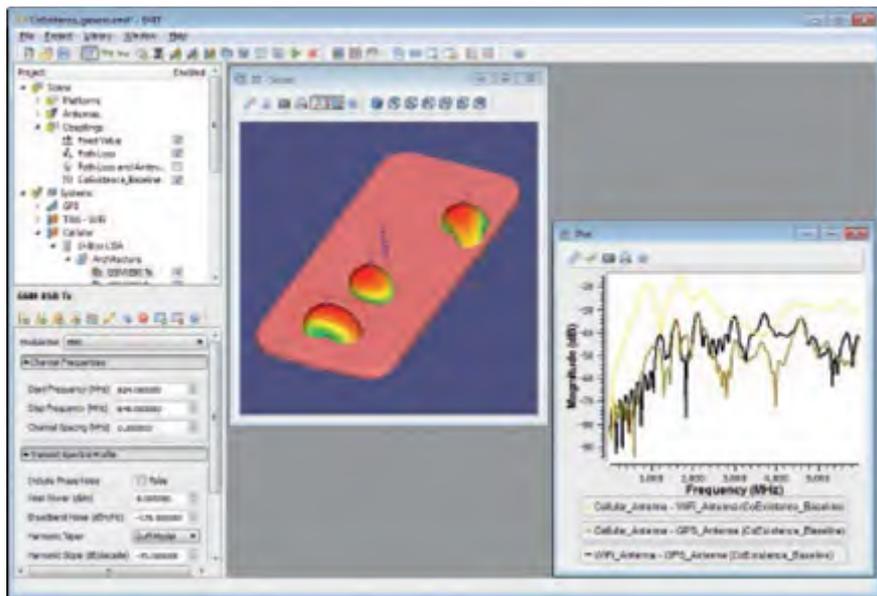


手机加载Cellular、WiFi、GPS三个通信系统，可在电磁场分析工具Savant中进行手机载体和天线本体的建模

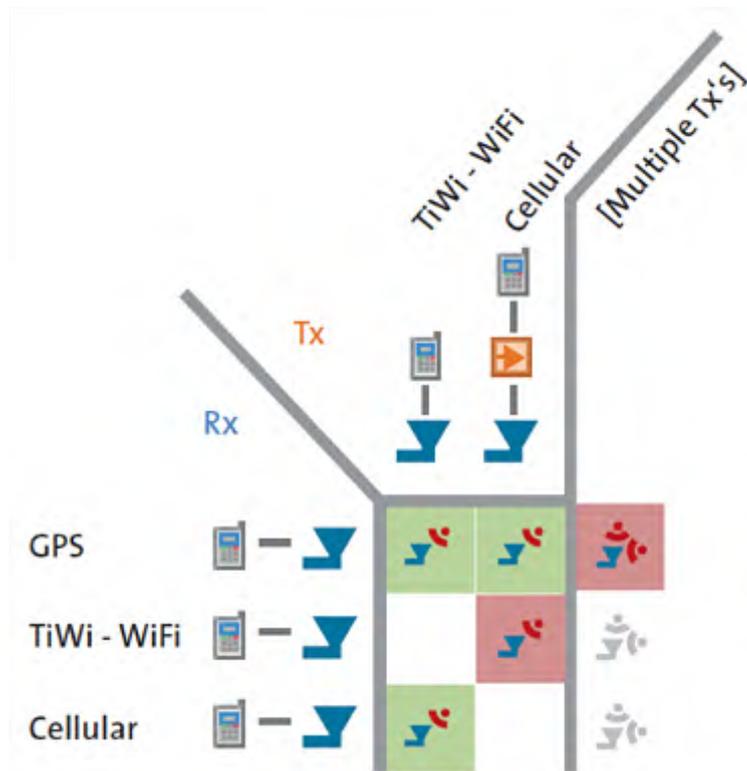
Savant计算得到的三个天线间相互的耦合量



案例：手机多射频系统干扰分析



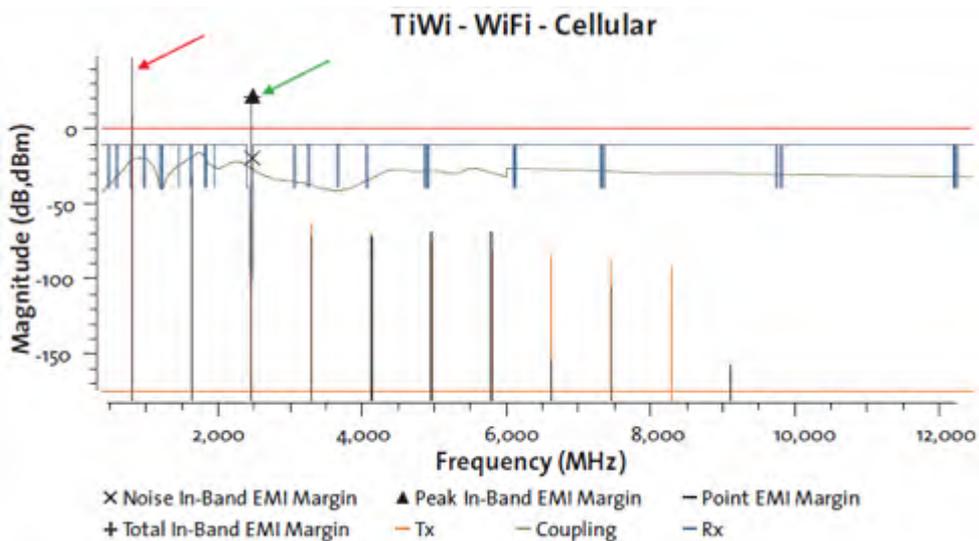
Savant计算得到的天线场图和天线
 之间耦合量数据导入EMIT



EMIT中1对1和N对1分析结果

案例：手机多射频系统干扰分析

1-ON-1 Analysis

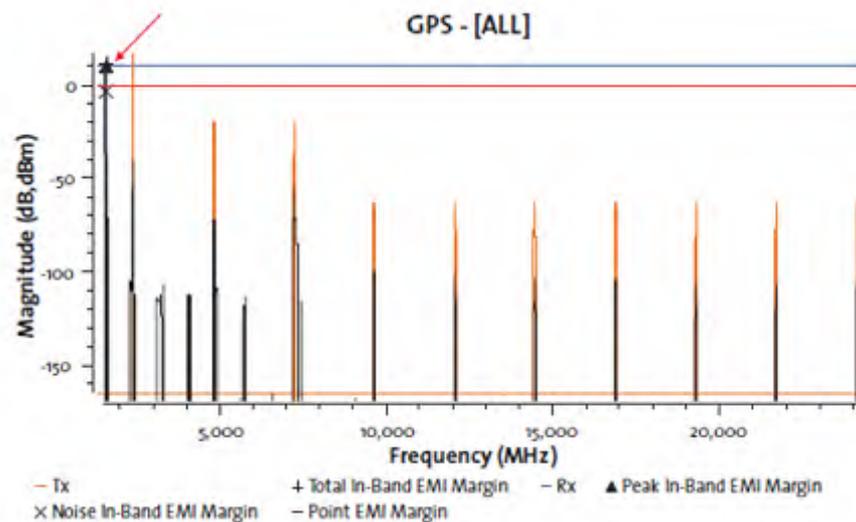


Cellular发射干扰WiFi接收

GSM 800/900频段的基波造成带外干扰 (红色箭头)

GSM 800/900频段的三次谐波造成带内干扰 (绿色箭头)

N-ON-1 Analysis



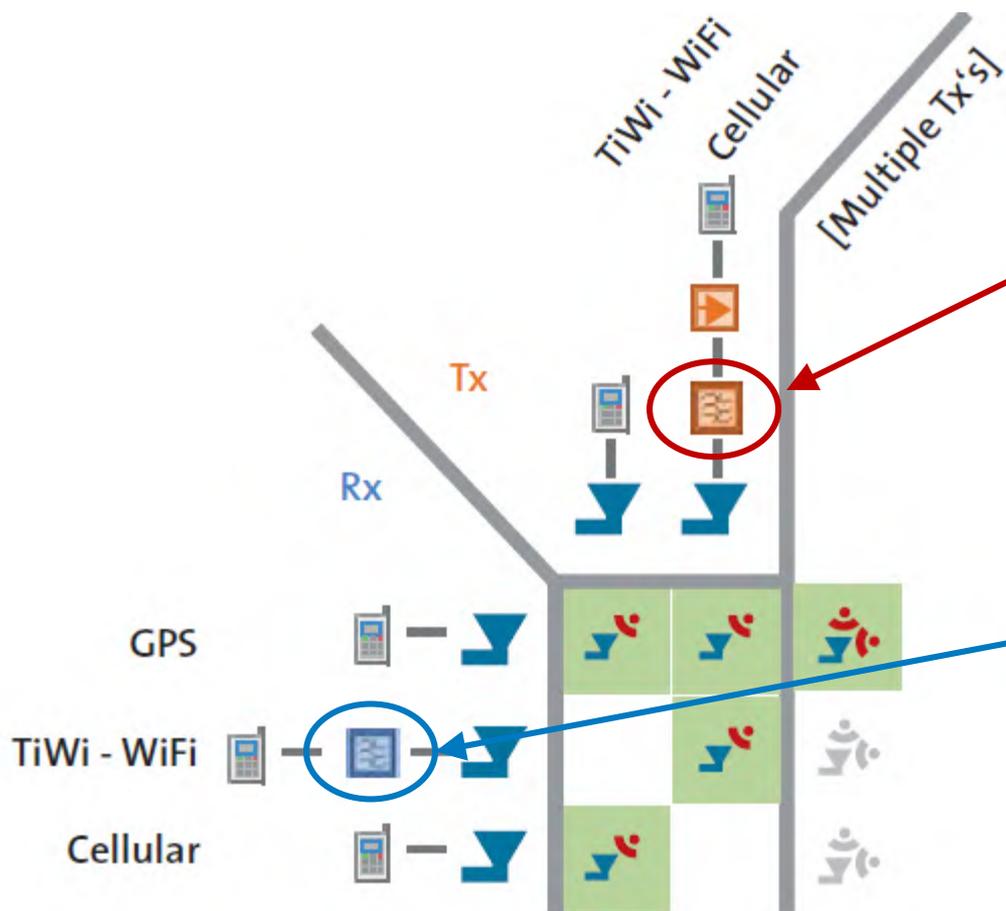
Cellular+WiFi发射干扰GPS接收

GSM和WiFi之间的二次交调产物是造成GPS带

内灵敏度受扰的根本原因：

$$2412\text{MHz} - 849\text{MHz} = 1563\text{MHz}$$

案例：手机多射频系统干扰分析



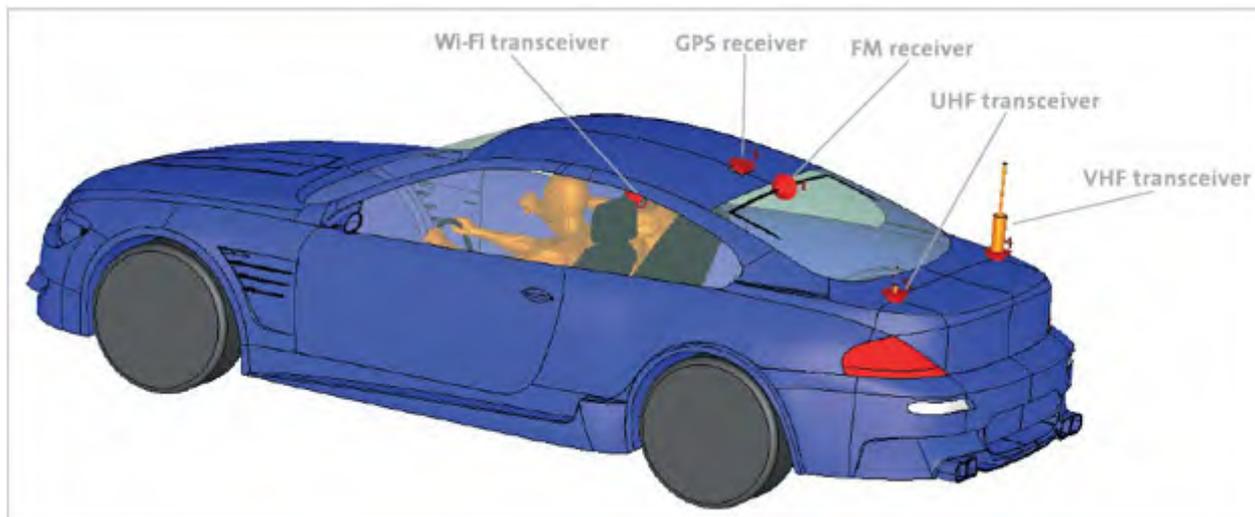
Cellular发射带通滤波器：

- 阻止带外的WiFi信号进入PA，消除二阶交调产物对GPS通道的干扰；
- 减小GSM的高次谐波，消除对WiFi接收通道的干扰；

WiFi接收带通滤波器：

- 消除Cellular基波带来的带外干扰；

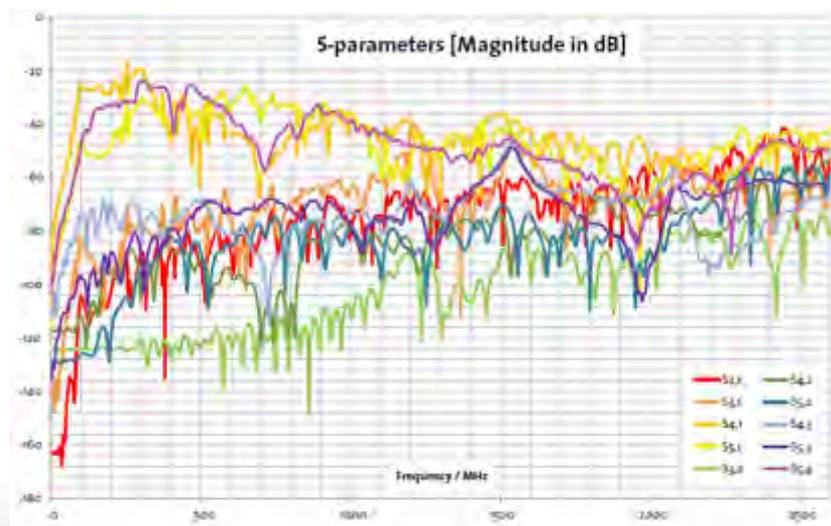
案例：汽车上的多射频系统共址干扰仿真



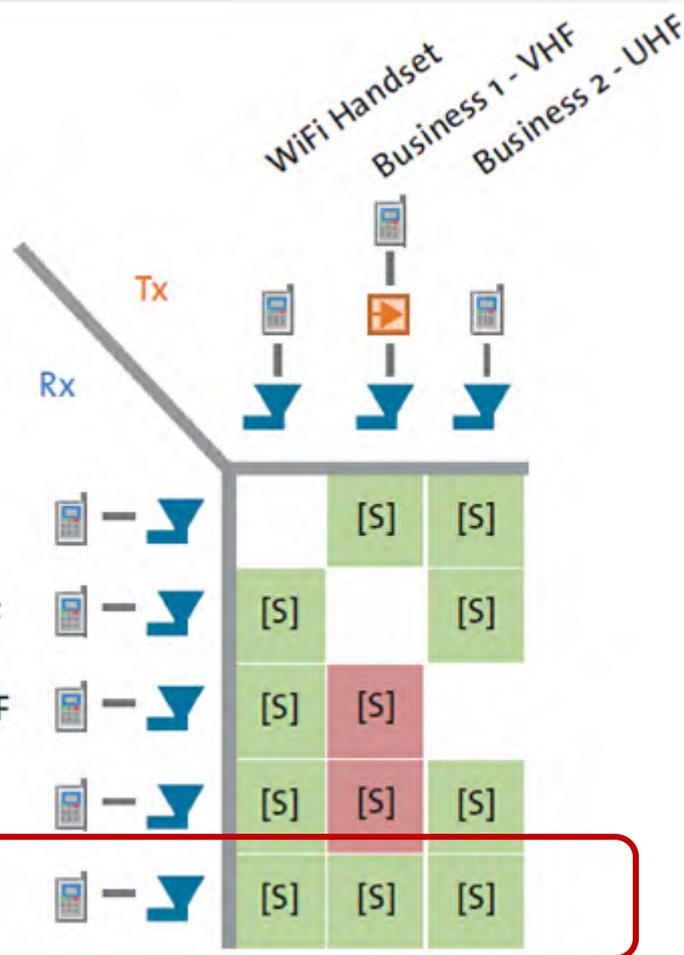
五个通信系统共存

- WiFi Transceiver ;
- GPS receiver ;
- FM receiver ;
- UHF Transceiver ;
- VHF Transceiver ;

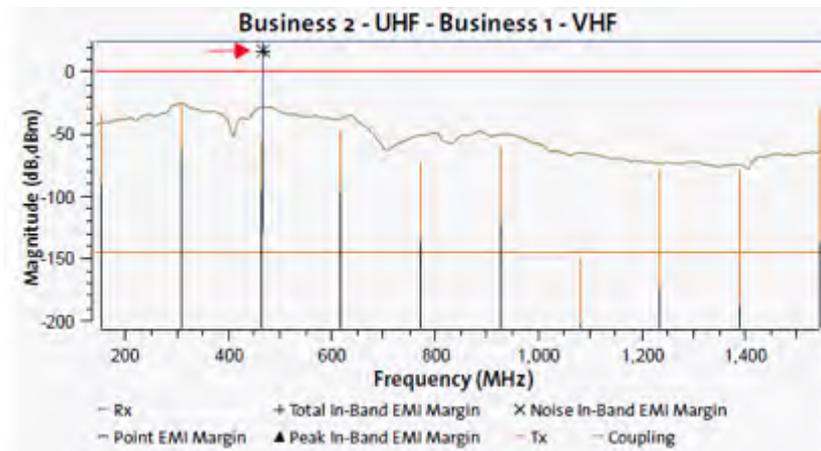
Savant计算得到天线间耦合度



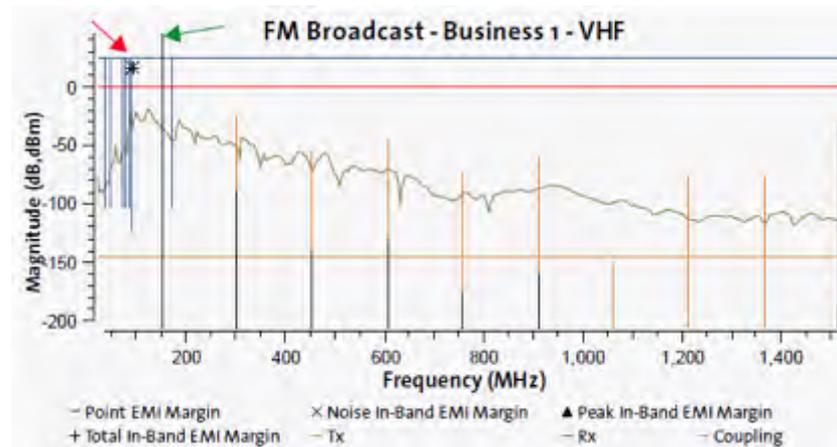
案例：汽车上的多射频系统共址干扰仿真



1-ON-1 Analysis

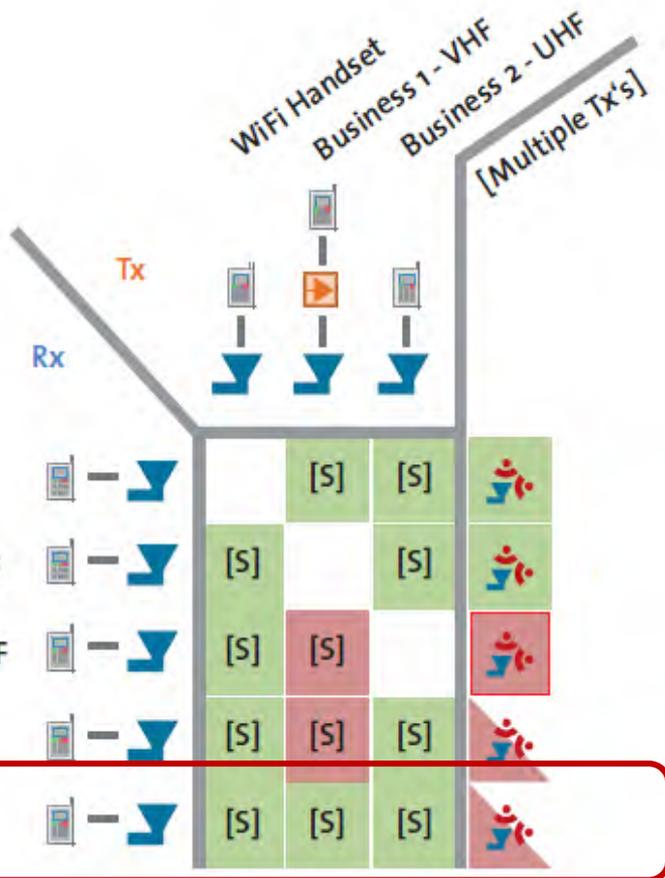


VHF对UHF的干扰 - 接收带内噪声

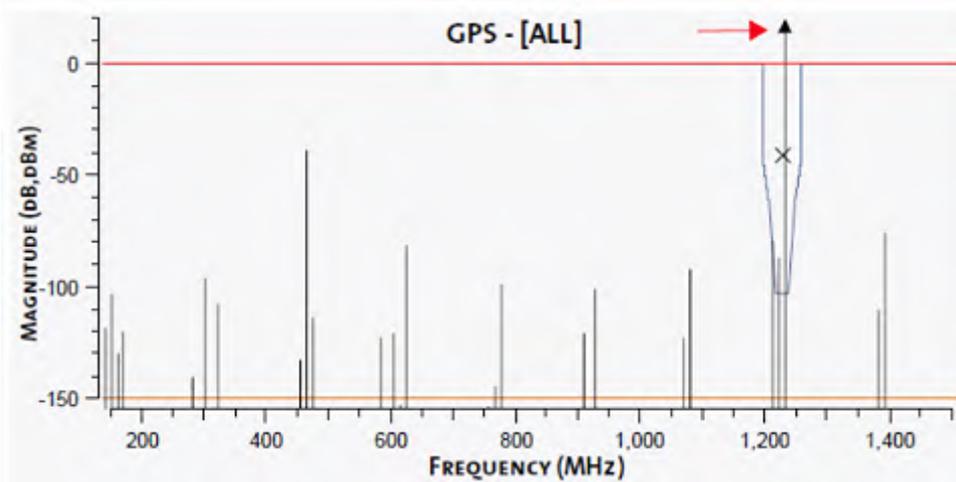


VHF对FM的干扰 - 接收带内噪声&发射基波

案例：汽车上的多射频系统共址干扰仿真



N-ON-1 Analysis

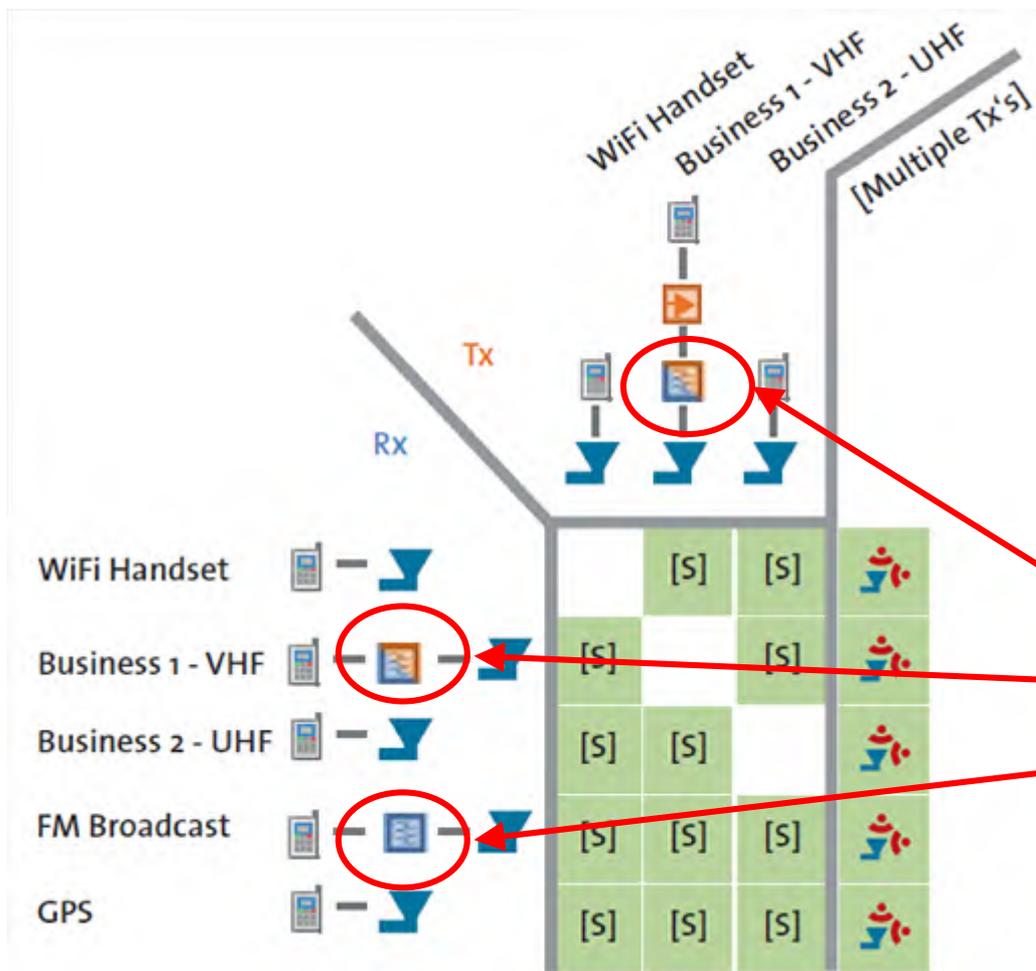


UHF的发射信号通过天线耦合至VHF发射通道，两者在PA处产生的四阶交调产物：

$$(2 * 151.5\text{MHz} + 2 * 464.5\text{MHz} = 1232\text{MHz})$$

导致GPS灵敏度受扰

案例：汽车上的多射频系统共址干扰仿真



在VHF和FM通道上使用
 带通滤波器
 帮助消除FM接收通道的
 干扰，以及VHF和UHF
 产生的交调产物影响
 GPS灵敏度

EMIT总结

求解问题

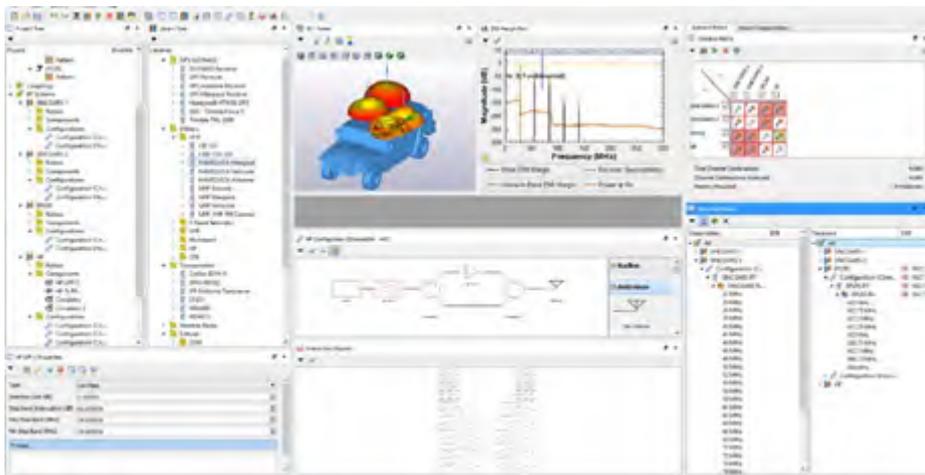
- 多个射频通信系统共址且同时运行的复杂情景
- 包含定位干扰问题所需的所有全系统级的相互作用
- 产生丰富互调分量的非线性模型
- 干扰优化方案的评估

技术亮点

- 宽带功率流求解器
- 与EM仿真工具 (Savant/HFSS) 的协同仿真
- 多保真度的参数化射频器件，以及无线电收发模型库
- 自动化干扰诊断功能帮助定位系统射频干扰的根因

应用领域

- 射频系统设计与集成
- 汽车
- 平台级共址干扰
- 无线/射频共存
- 航空
- 航天/卫星
- 无线设备
- 通信基站



ANSYS®



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

感谢聆听



ANSYS-China