

白皮书

使用 MATLAB 桥接无线通信设计和测试

目录

当今无线研发的关键需求.....	3
使用符合标准的系统和信号.....	4
用于 RF 数字建模和仿真的集成环境.....	5
借助软件无线电和 RF 仪器进行 over-the-air 测试.....	5
加速无线系统原型建立.....	6
使用 MATLAB 进行无线系统设计.....	7
无线通信标准仿真.....	8
案例研究: 5G NR 下行链路吞吐量仿真.....	10
了解更多关于符合标准的仿真和设计的信息.....	11
联合 RF 基带建模和仿真.....	13
案例研究: 大规模 MIMO 天线阵列和波束成形建模.....	14
了解更多关于无线系统 MIMO 处理和波束成形的信息:	16
案例研究: 借助 DPD 描述功率放大器特征以减小信号失真.....	16
了解更多关于联合 RF 数字建模和仿真的信息.....	18
设计验证和测试.....	18
符合标准的信号产生和测量.....	18
借助 RF 仪器和软件无线电进行 over-the-air 测试.....	19
案例研究: 采用 SDR 硬件的 LTE 小区扫描仪.....	20
了解更多关于借助 RF 仪器和软件无线电进行测试的信息.....	21
无线原型建立和实现.....	22
基于 FPGA 和 SoC 的 SDR 平台的原型开发工作流程.....	22
案例研究: 面向 FPGA 和 ASIC 实现的优化的 HDL 代码.....	23
了解更多关于无线原型建立和实现的信息.....	25
小结.....	25
了解更多关于使用 MATLAB 进行无线设计的信息.....	25
了解领先企业如何使用 MATLAB 进行无线设计.....	25

无线通信领域的进步亟需提高技术集成水平，旧有开发方式的局限性日益凸显。

本白皮书探讨了在不断变化的无线系统设计格局下，影响产品开发速度和成功率的主要挑战。

在当前的技术条件下，可以在单个可编程设备或模块中实现从 RF 到基带的整个信号链。考虑下列某种设备需要用到专业知识（更不用说设计）：RF、数字逻辑、DSP、嵌入式软件和系统架构。要将其整合成一个完整系统，还需要了解更多知识：天线设计、传播，以及一种或多种无线标准。

在典型的研发团队中，很难针对新的设计理念建立原型或实施验证，特别是多天线系统及高度耦合的数字和 RF 前端。这是迫切要实现下一次产品突破的研发团队所面临的主要挑战。领域专家使用单独工具各自为战的日子快要结束了。

幸运的是，还有更好的方法。无线工程团队认识到他们可以得益于衔接算法设计、系统仿真、over-the-air 测试、原型开发和实现的软件环境。与仍在孤立地进行设计的团队相比，充分利用早期设计集成的团队报告称，整体开发时间节省可达 30%，功能验证时间节省可达 85%。

当今无线研发的关键需求

转变分散的无线开发工作流程需要各类工具，以便能够将多个工程学科整合到一个连贯的工作流程中（图 1）。理想的工作流程应该通过赋予工程团队以下能力，来加快交付工作原型和产品的速度：

- 创建符合标准的波形和参考模型来验证各个阶段的设计
- 在端到端仿真的背景下设计基带、RF 和天线组件
- 使用 RF 仪器和现成的软件无线电 (SDR) 硬件建立设计原型并进行验证

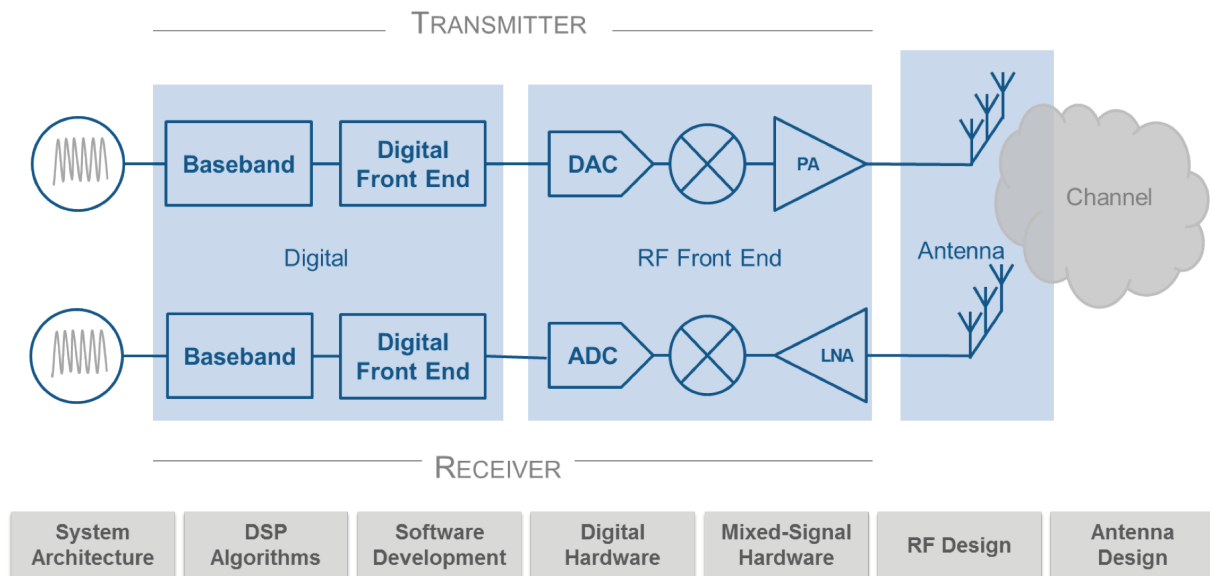


图 1: 开发当今无线系统所需的大量工程技能。

使用符合标准的系统和信号

为有效确认 5G、LTE 和 WLAN 产品是否符合标准，需要具备满足研究、设计和测试等各阶段不同要求的工具。

研究人员往往开发内部仿真工具，以探索算法及运行性能仿真。通常，这些工具缺乏良好的文档，并且难以用于产品开发任务，例如原型建立和测试。设计工程师和测试工程师可能会使用测试和测量设备提供的标准波形生成和分析软件。这类软件不能独立于测试硬件使用，也难以针对超出原始参数和选项菜单范围的情况进行修改。此外，使用专用测试软件时很难访问调试故障所需的中间信号信息。

使用不同的工具进行仿真和硬件测试时，需要将仿真测试移植到硬件测试环境中，这些额外的工作很耗时，并且可能会导致不一致的问题，从而给调试和校正造成困难。

在开发过程的所有阶段使用相同软件，可以改进此过程，其中涵盖四种常见用例（表 1）。

用例	工程目标
端到端仿真	<ul style="list-style-type: none"> 评估设计选择如何影响系统性能 确认系统符合标准
符合标准的波形生成	<ul style="list-style-type: none"> 使用合成或实时 over-the-air 信号测试设计
用于设计验证的黄金参考	<ul style="list-style-type: none"> 验证设计是否如预期一样有效
信号接收和恢复	<ul style="list-style-type: none"> 对真实信号进行解码 验证接收机设计

表 1: 确保软件符合无线标准的用例。

若要涵盖这组任务，该软件应具备以下特性：

- 可在三个层级上运作的产品架构和编程接口：
 - 具有开放接口的低级功能（例如调制、映射、预编码）
 - 单步处理整个链路（物理信道和信号）的中级功能
 - 高级信号产生功能和应用程序
- 使用高级编程语言的开放实现，便于进行理解、实验和定制
- 与硬件无关的测试接口，以便能够独立于特定制造商的硬件，利用产生的信号和测试平台进行仿真和测试

用于 RF 数字建模和仿真的集成环境

要在无线系统方面实现更高的数据速率、海量连接、更低的功耗及其他宏大目标，只能仰仗高级数字技术、RF 和天线技术的组合运用。一直以来，这些组件都是各自单独设计，只有在建立了首个硬件原型后才进行集成、测试和调试。

如果您设计基带算法时不考虑 RF 损耗，则这些算法在实际应用中不可能奏效。如果您是一名 RF 前端设计师，鉴于 DSP、数字控制算法和天线配置会影响系统性能和成本，因而您需要了解 RF 和 DSP 如何协同工作，因为这将影响整体系统性能和成本。当您使用来自不同供应商的多个工具时，测试、调试和纠正错误将变得非常困难、耗时且成本高昂，留给优化设计的时间将少之又少。

灵活的集成式仿真环境为无线系统设计提供了关键优势。这样，各领域的专家可以使用最得当的工具，促进设计并验证整套无线系统。

可以对模型进行配置，以达到诸如仿真速度或针对目标实现的逼真度之类的效果，并且可以轻松添加自定义功能。此方法对于如下所示的复杂应用极其有效：

- 对 5G、LTE-Advanced 和 WLAN 系统中使用的多天线 (MIMO) 系统进行建模，包括天线阵列、传播模式和波束成形
- 对端到端通信链路进行仿真，包括 RF 和信道损耗，以及用于减轻这些损耗的算法
- 对以数字方式控制的 RF 前端和收发机进行建模，提供快速、准确的仿真结果，控制难以在硬件中调优和调试的参数
- 探索、设计和分析技术以提高吞吐量、效率和稳健性，包括深度学习和机器学习

借助软件无线电和 RF 仪器进行 over-the-air 测试

究其根本，无线系统必须在空中发送和接收信号。随着软件无线电硬件的商用化，在开发过程的尽早阶段执行 over-the-air 测试和捕获实时信号已变得切实可行且经济划算。时至今日，挑战来源于软件。

第一代 SDR 开发工具分为两类：开源框架和针对特定供应商硬件的专有软件。在这两种情况下，SDR 开发都脱离了算法开发和仿真阶段。现在可以将仿真和算法开发软件连接到 SDR 硬件。这种方法支持模型和波形重用，以利用实时信号验证设计，从而节省大量时间和成本。

由于测试和测量应用程序需要校准 RF 仪器，工程师通常依赖仪器提供的软件。这类软件用于在特定硬件上执行特定任务。在这些应用程序中，使用仿真和算法开发软件生成信号及执行分析任务的效率也可能会高得多。

理想的软件则是与硬件无关，便于工程师：

- 重用信号发生器、测量和测试平台，以确保从仿真阶段到现场测试再到生产测试和验证的连续性
- 使用一系列现成的硬件来满足不同的需求和预算要求

加速无线系统原型建立

无线工程师越来越依赖于使用 FPGA 或可编程 SoC 硬件的早期硬件原型和概念验证测试平台。虽然原型设计平台业已问世，但无线系统工程师和研究团队往往缺乏开发及调试原型的硬件设计专业知识。

许多工程团队正在转向基于模型设计，其提供了连贯的工作流程，该工作流程使用模型：

- 创建可执行的黄金参考规范
- 在仿真中开发和验证定点硬件适应的设计
- 自动生成 VHDL®、Verilog® 和 C 代码
- 自动执行在 FPGA 或 SoC 硬件上建立原型及进行验证的工作流程

借助基于模型设计（图 2），模型支持探索和验证硬件架构、自动生成代码减少实现错误，而连续验证则可减少在测试和调试软件与硬件上花费的时间。图 3 显示使用基于模型设计可以将无线 ASIC 的 HDL IP 的实现和验证时间缩减 60% 或以上。

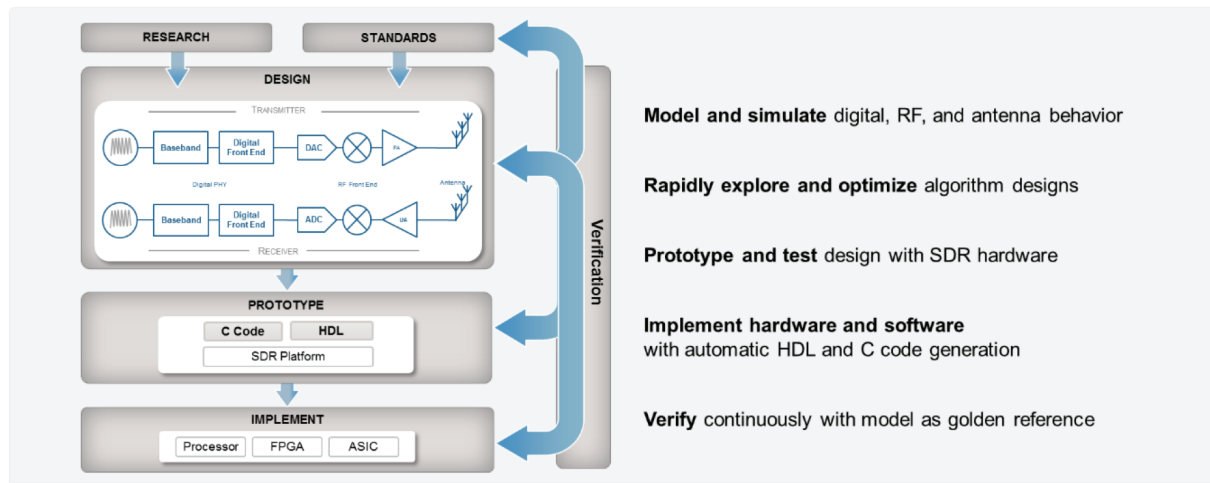


图 2: 通过使用基于模型设计来统一和加速无线开发工作流程。

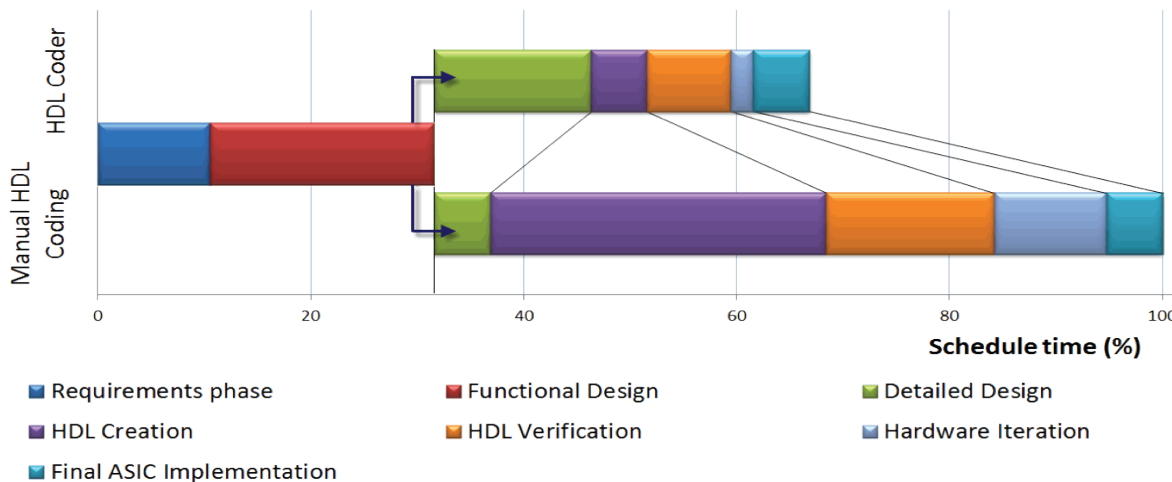


图 3: 使用基于模型设计来开发无线 ASIC 的 HDL IP 所实现的时间节省。

使用 MATLAB 进行无线系统设计

无线工程师依靠 MATLAB® 开发算法、分析数据、探索新技术，以及发布数以千计的研究论文和软件投稿。其原因在于 MATLAB 非常适合用于物理层建模，这是所有无线系统的基础。

现在，许多领先的企业都不仅仅将 MATLAB 用于算法开发和分析。其工程团队全程使用 MATLAB 算法来进行 LTE、WLAN、5G 和其他无线系统的完整系统仿真和实现。这些工程师使用 MATLAB 和 Simulink® 将 RF、混合信号和数字技术集成到多域系统模型中，连接到硬件以利用实时信号进行 over-the-air 测试，还在一系列硬件上建立原型并实现其设计（图 4）。

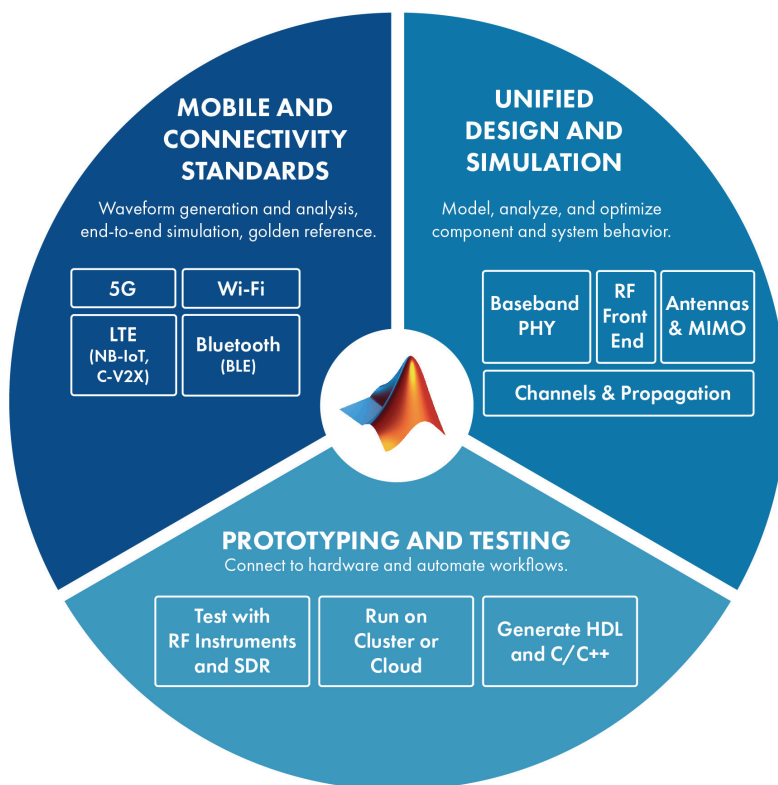


图 4: 使用统一的 MATLAB 和 Simulink 环境简化无线系统开发过程。

工程师们不仅可以省去一些步骤, 而且可以更快地交付工作设计, 其原因在于:

- 通过仿真和 over-the-air 测试来**验证是否符合标准**
- 利用联合基带-RF 仿真来**探索和优化系统设计**
- 在步入硬件实现前**解决设计问题**
- 通过仿真和 over-the-air 测试**简化测试和验证**
- 从算法模型**自动生成** HDL 或 C 代码
- **重用模型**以加快设计迭代以及新一代项目的进度

以下示例和案例研究说明了 MATLAB 和基于模型设计, 在应对无线开发普遍面临的设计难题时能够提供的诸多方法。

无线通信标准仿真

随着无线行业逐渐转向无所不在的无线接入, LTE、WLAN、Bluetooth® 及其他一些标准将继续演进并在未来的系统中发挥重要作用 (图 5)。

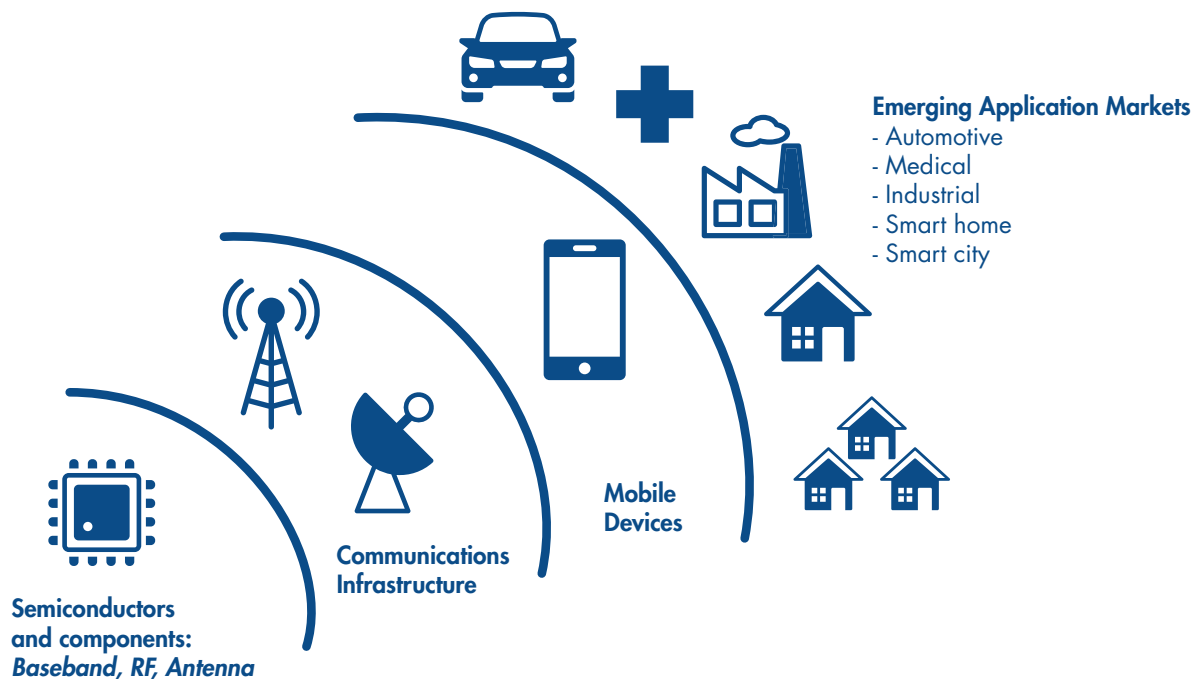


图 5: 在新应用形式下, 通过最新无线标准和技术支持连接越来越多。

工程师可利用 MATLAB 系列工具箱, 设计并测试符合标准的 5G、LTE、WLAN (802.11) 及低功耗蓝牙系统。这些工具箱中提供了大量功能, 支持上一部分介绍的四种用例。

用例	无线标准工具箱的功能
端到端仿真	<ul style="list-style-type: none"> • 仿真发射机、信道模型和参考接收机 • 分析误码率 (BER) 和吞吐量
波形生成	<ul style="list-style-type: none"> • 生成符合标准的波形 • 以图形或编程方式设置参数 • 使用 RF 仪器和软件无线电进行仿真和 over-the-air 测试
用于设计验证的黄金参考	<ul style="list-style-type: none"> • 自定义符合标准的算法“白盒”实现
信号接收和恢复	<ul style="list-style-type: none"> • 捕获现实信号并对现实信号进行解码 • 验证接收机设计

借助这些功能，您可以衡量不同算法、设计选择和信道条件对系统性能和吞吐量的影响，开发高效接收机算法，以及验证系统设计是否符合标准规范。

您可以配置、仿真、测量和分析符合 5G、LTE、802.11 WLAN 或低功耗蓝牙标准的端到端通信链路。MATLAB 工具箱提供一些示例，可帮助您探究基带参数并仿真射频设计和干扰源对系统性能的影响。

由于工具箱示例和函数包含开放 MATLAB 代码，您不仅可以通过它们了解标准运作原理，还能将其用作开发和验证专有实现的可自定义参考模型。

案例研究: 5G NR 下行链路吞吐量仿真

虽然 5G NR 与 LTE 有很多共同点，但透过大部分物理信道和信号名称不难看出，二者之间同样存在显著差异。5G NR 支持的用例比 LTE 更多，延迟要求也更为严格。因此，5G NR 物理层做出了几项重大调整。调整如下所示：

- 5G 载波频率可高达 60 或 70 GHz，而 LTE 只能在 6 GHz 以下部署。同样，还会对物理层设计造成重大影响，因为需要通过波束成形来支持更高的频率。
- 鉴于频率更高，频谱范围更大，5G NR 的最大信道带宽高达 400 MHz，未来可能仍会继续扩大。
- LTE 的子载波间隔固定为 15 kHz，现在则介于 15 至 240 kHz 之间。

图 6 显示 5G NR 下行链路共享信道 (DL-SCH) 端到端仿真。此信道承载用户数据。同时，也可以承载其他信息片段，如不同类型的系统信息块 (SIB)。

编码链包括若干常规步骤，如 CRC、编码块分割、速率匹配和连接，所有步骤均与我们所熟悉的 LTE 步骤保持一致。与 LTE 的主要区别在于采用 LDPC 编码。编码链输出代码字。然后，将编码数据映射至物理下行链路共享信道 (PDSCH)、进行调制，再通过信道模型传输。经过同步、解调和信道估计后，接收机将重建波形。

在图 6 中，左侧绘图显示的是可变子载波间隔，右侧显示的是吞吐量测量值。

5G WAVEFORM

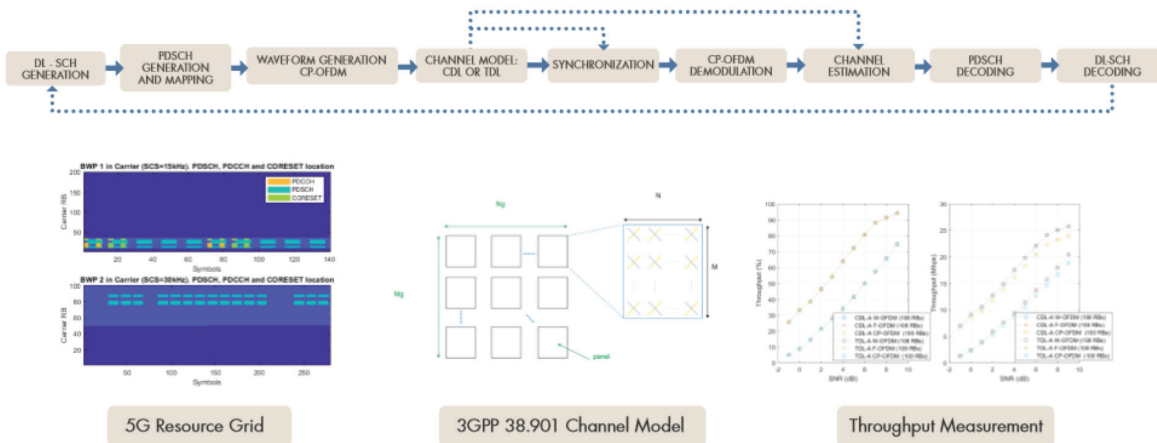
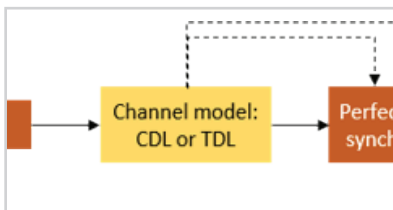


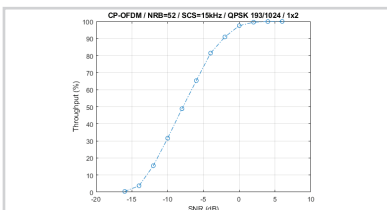
图 6: 5G NR 下行链路共享信道端到端仿真。

了解更多关于符合标准的仿真和设计的

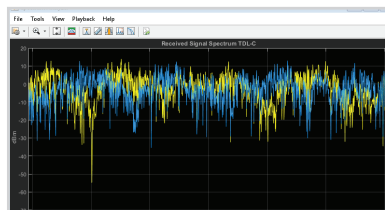
5G 端到端仿真



5G NR PDSCH 下行链路吞吐量仿真



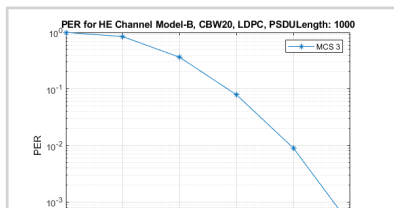
5G NR PUSCH 上行链路吞吐量仿真



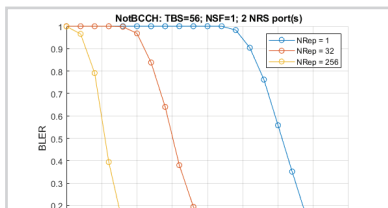
通过 5G MIMO 信道模型传输

LTE、WLAN 和蓝牙端到端仿真

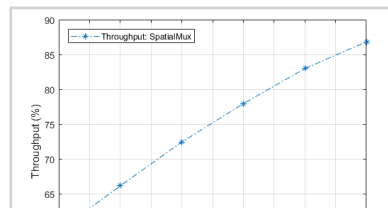
MATLAB 工具箱提供 LTE、WLAN、蓝牙无线标准及 5G 端到端仿真。以下示例展示如何执行链路级（一个发射机和一个接收机）和系统级（多节点）仿真。



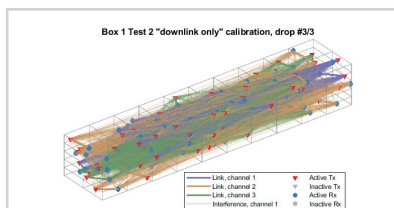
802.11ax 误包率仿真



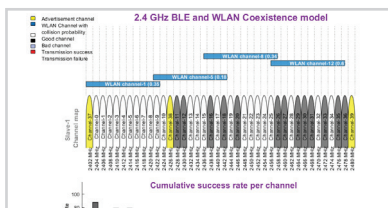
NB-IoT 下行链路误块率仿真



LTE 吞吐量一致性测试



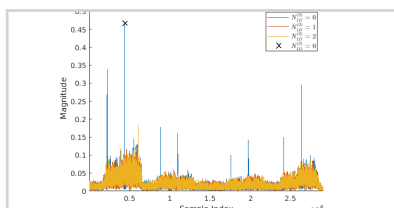
802.11ax 专注 PHY 的系统级仿真



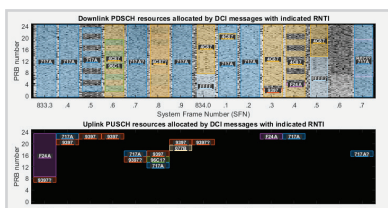
BLE 网络 WLAN 干扰统计建模

信号接收和恢复

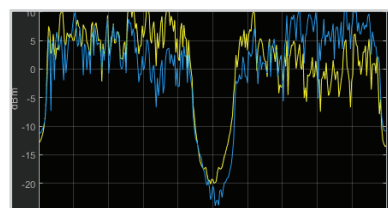
无线接收机必须设计执行一系列信息恢复操作，对基于标准的信号进行解码。以下示例展示了 5G、LTE 和 WLAN 系统接收机设计的几个方面。



5G NR 同步程序



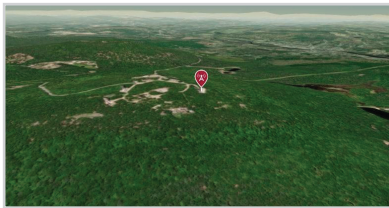
使用下行链路信号进行 LTE UE 检测



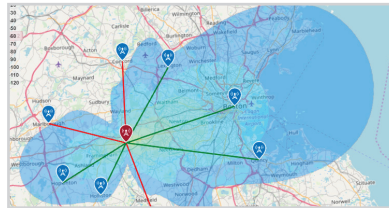
802.11ax WLAN 信号恢复

信道建模和 RF 传播

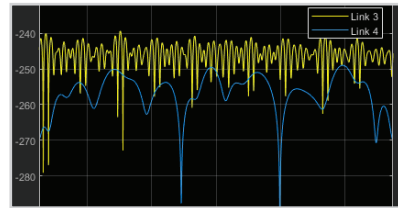
无线接收机需要减轻信道条件引发的传输损耗和信道损失。以下示例展示了 MATLAB 工具箱中提供的工具样本, 以便对各种信道效应和 RF 传播效应进行建模和可视化。



在地形上规划 5G 固定式无线接入链路



实现天线覆盖地图和通信链路可视化



使用 WINNER II 信道模型对多个衰落信道同时仿真

联合 RF-基带建模和仿真

一直以来, 数字通信、RF 和天线工程师采用的工具各不相同, 而且相互孤立。在开发第一个硬件原型后才着手集成组件。高度集成的 RF 收发机及无线电前端技术的出现, 对这一工作流程造成了压力。现在无线工程师可以使用 MATLAB 和 Simulink 对包含 RF、模拟、数字和控制逻辑组件的复杂的 RF 前端进行建模、仿真和分析 (图 7)。这些模型是 RF 前端的可执行规范, 支持涵盖以下环节的工作流程:

- 比电路级仿真更快的系统级仿真
- 使模型与更详细的特性参数描述保持同步的迭代式开发
- 在实验室原型设计和测试之前, 验证混合 RF 数字设计

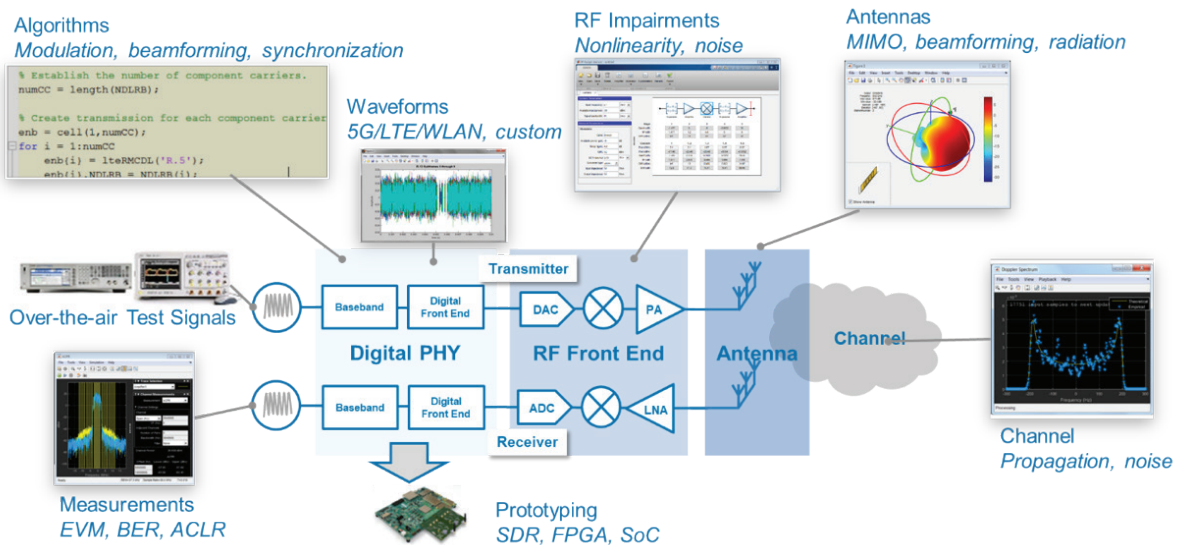


图 7: 利用 MATLAB 进行多域无线系统的设计、测试和分析。

此工作流程可减少在验证和调试系统行为上花费的时间，并改进与同事、供应商和客户之间的协作。以下案例研究显示如何应用此工作流程解决高速、高带宽通信系统中面临的典型问题。

案例研究: 大规模 MIMO 天线阵列和波束成形建模

MIMO 天线阵列可有效增加无线系统信道容量、提高数据速率以及改善 LTE 和 Wi-Fi 基站和设备的抗干扰能力。全新 5G 毫米波设计在基站 (eNodeB) 部署包含数百个天线单元的大规模 MIMO 天线阵列。由于天线阵列的尺寸与波长成比例减小，因此毫米波频率的阵列最多可以比微波频率阵列小百倍。

实现最佳设计需要天线阵列和波束成形算法的组合模型，以便模拟它们的相互作用和对系统性能的影响。这对当前的 3G 和 4G 设计工具造成了压力，这些设计工具通常将天线设计与系统架构和信号处理算法分离。典型的 MIMO 仿真时间也通常比 3G 和 4G 仿真时间长 10 倍。

天线阵列系统的行为级仿真缩短了仿真时间。这使工程师能够试验不同的阵列架构和算法，仿真阵列和相关算法的性能，调整参数以减轻天线耦合的影响，并评估天线增益和信道容量之间的取舍。用户可以通过面向 MIMO 阵列设计任务的 Phased Array System Toolbox™ 和 Antenna Toolbox™ 迭代评估取舍。

图 8 显示了 66 GHz 64x64 单元设计 (使用 Antenna Toolbox 设计) 的波束方向图和栅瓣图。

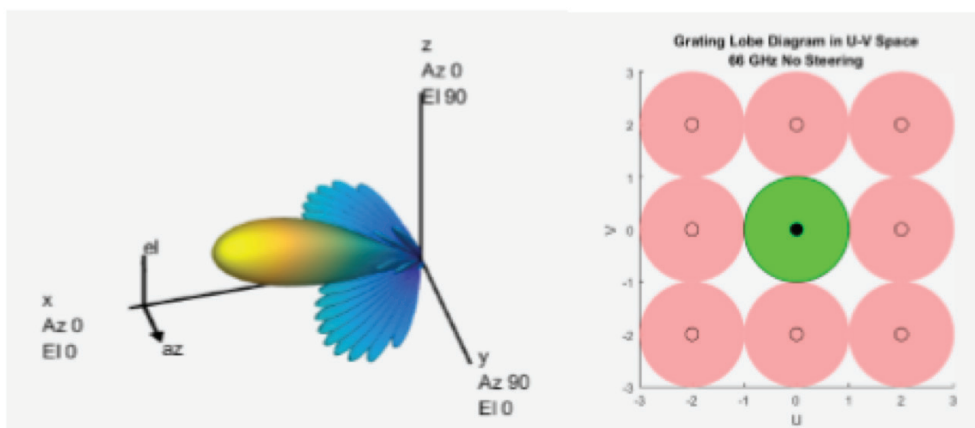


图 8: 66 GHz 64x64 单元设计的波束方向图和栅瓣图。

混合波束成形

波束成形可以缓解毫米波频率下的信号路径和传播挑战。理想情况下, 对每个天线单元专门设置发送/接收 (T/R) 模块, 借此进行独立加权控制, 但由于成本、空间和功率的限制, 这种做法通常不切实际。

混合波束成形是一种在数字域和 RF 域之间划分波束成形的技术, 以降低与 RF 信号链数量相关的成本。混合波束成形将多个阵列单元组合成子阵列模块, 并有一个 T/R 模块专用于阵列中的子阵列。

为在实现成本限制内帮助满足所需的性能参数, Simulink 能够对 RF 域和数字域组件进行统一的多域建模和仿真。RF Blockset™ 中的电路包络仿真可确保混合系统的快速仿真。

在 Simulink 中, 可以评估阵元数量和预编码参数值, 以确保在一系列指向角范围内达到系统性能要求。

在 MATLAB 中可以计算数字和 RF 波束成形权重并纳入 Simulink 模型中。

图 9 显示了多域模型的一部分, 其中包含数字波束成形权重, 用于成形馈送到 RF 子阵列的信号, 并在 RF 子阵中应用了相移。得到的混合权重可产生所需的阵列方向图。

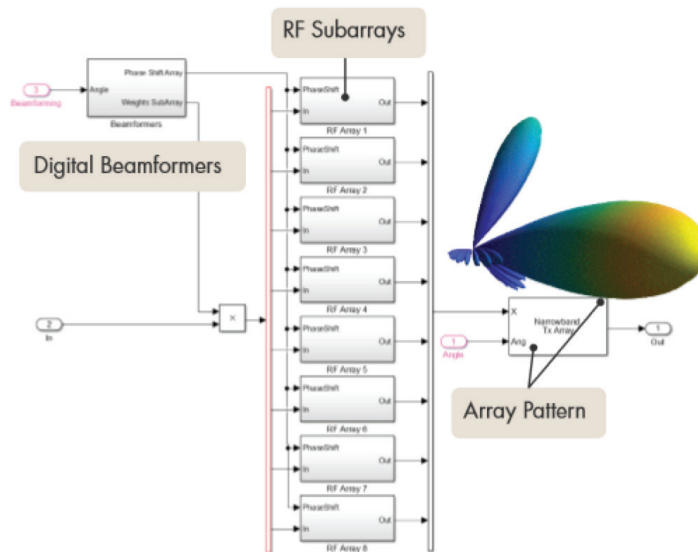
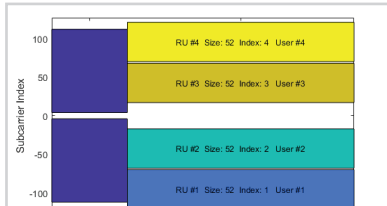


图 9: MATLAB 中的混合波束成形设计

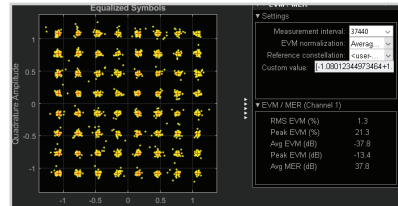
了解更多关于无线系统 MIMO 处理和波束成形的信息



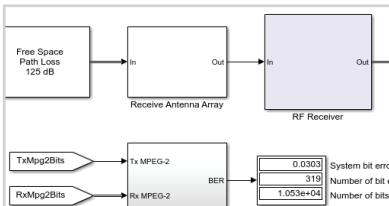
大规模 MIMO 相控阵系统的混合波束成形



802.11ax 下行 OFDMA 和 MU-MIMO 吞吐量仿真



使用相控阵的 MIMO-OFDM 预编码



采用射频波束成形算法的数字视频广播

案例研究: 描述功率放大器特征并借助DPD以减小信号失真

为确保功率放大器 (PA) 以更高的频率和更大的带宽运行, 必需实现高效率, 因而引入了非线性。数字预失真 (DPD) 技术不仅可以提高发射器的效率, 同时还能限制频谱增生和信道间干扰。

开发高质量 DPD 算法具有挑战性, 因为它需要理解功率放大器引入的效应。由于功率放大器是非线性的, 并且受有限记忆效应的影响, PA 的特征在很大程度上取决于驱动信号的带宽、其频谱占用以及峰值平均功率比 (PAPR)。

由于这种复杂性, 通常在实验室中开发 DPD 算法, 并使用原型硬件将算法与实际 PA 一起测试。虽然这种方法对于验证算法很有用, 但很难探索 DPD 设计空间, 而且实际 PA 尚不可用时无法使用这种方法。

使用行为模型支持在实验原型开发之前开发 DPD 算法。在 RF Blockset 中, 您可以使用电路级仿真工具或实验室测量的 PA 输入/输出特性识别高质量的记忆多项式模型。在几秒钟内, 您就可以探索不同的多项式阶数和记忆深度 (图 10)。

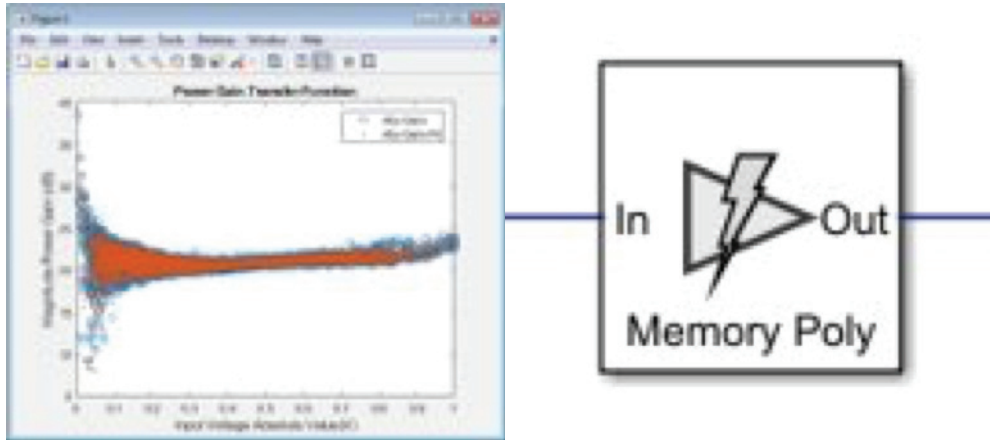


图 10: 从测得的功率放大器数据衍生而来的非线性 MATLAB PA 模型 (含记忆效应) (左侧), 以及用于时域电路包络仿真的相应 Simulink PA 模型 (右侧)。

PA 模型可以在系统仿真中与实际 (且符合标准) 的基带信号、RF 发射器和观察者接收器的模型、用 S 参数表示的天线终端以及各种自适应 DPD 算法一起使用 (图 11)。通过这种方法, 设计人员可以快速验证设计, 并考量在实验室中难以捕获的色散性和非线性效应。

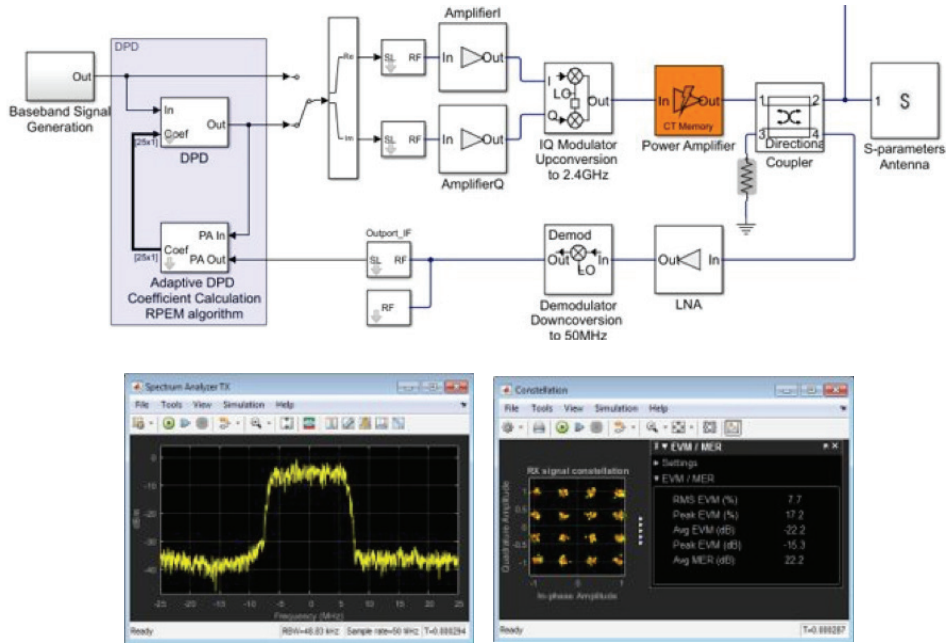
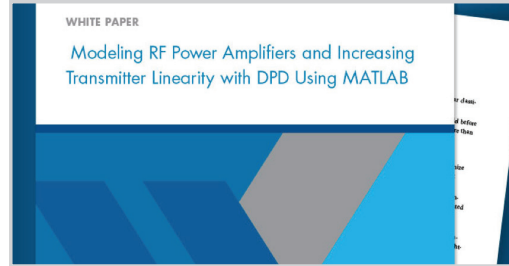


图 11: 闭环仿真使用自适应 DPD 算法的 RF 功率放大器 (顶部) 及生成的输出频谱和 EVM 测量 (底部)。

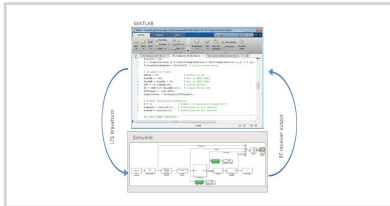
了解更多关于联合 RF-数字建模和仿真的信息



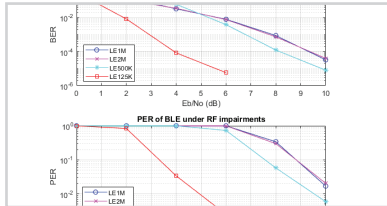
用 MATLAB 构建更智能射频系统的四个步骤



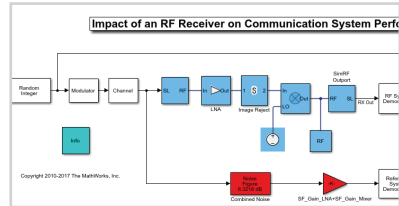
使用 MATLAB 进行射频功率放大器建模并借助 DPD 增加发射器线性度



用于接收 LTE 的 RF 接收机建模



考虑 RF 损伤的低功耗蓝牙 PHY 仿真



RF 接收机对通信系统性能的影响

设计验证和测试

符合标准的信号产生和测量

测试非常之重要，以至于不能留到您进入硬件实验室后才着手进行。一旦开始开发算法或设计 RF 前端，您就需要一个测试激励信号和测量，以评估性能和调试问题。

仿真阶段的要求可能与测试阶段的要求有很大不同。研究人员和设计工程师需要更大的灵活性来定制波形、可视化数据和访问低层级信息，以发现细微问题，并基于广泛的场景运行仿真。

使用 MATLAB，您能够：

- 只需采用交互方式或几行 MATLAB 代码就能生成符合标准的信号 (图 12)
- 将损耗添加到波形
- 使用示波器和测量数据 (例如 EVM 和 ACLR) 分析测试结果
- 使用仿真或实时 over-the-air 测试验证设计
- 将测试应用程序部署到 C/C++ 测试环境

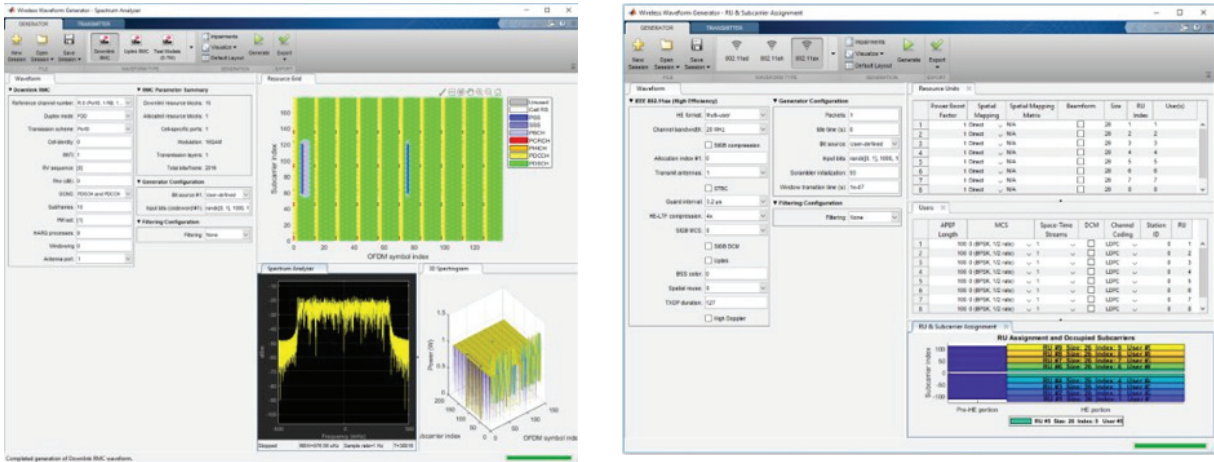
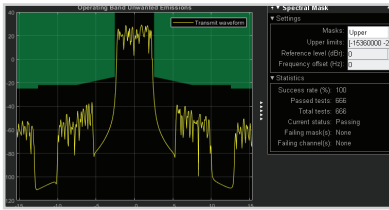
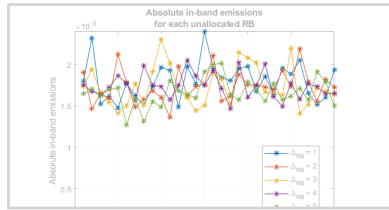


图 12: 使用 Wireless Waveform Generator 应用程序生成标准测试波形: LTE (左侧) 和 802.11ax (右侧)。

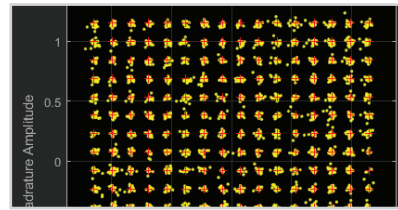
了解更多关于借助 MATLAB 工具箱进行标准测试和测量的信息



LTE 下行链路 ACLR 测量



LTE 上行链路 EVM 和带内发射测量



802.11ac 发射机调制准确性和频谱发射测试

借助 RF 仪器和软件无线电进行 over-the-air 测试

通过连接到软件无线电和 RF 仪器硬件,您可以在桌面上、实验室中或现场对 MATLAB 代码和 Simulink 模型执行 over-the-air 测试,以在现实条件下验证设计。在仿真阶段使用的测试平台、信号发生器、示波器和测量可以重用于硬件测试。这种方法不再需要在不同的软件环境中重新创建测试,因而缩短了测试开发时间,减少了错误。

借助 MATLAB 的灵活性和分析能力,您能够诊断和调试很难在受限的软件环境中解决的细微问题,这些问题通常与测试和测量硬件相关。

MATLAB 和 Simulink 支持一系列可用的 SDR 硬件以及来自 Keysight、Rohde & Schwarz、National Instruments、Anritsu 和其他 RF 仪器供应商的 RF 信号发生器和频谱分析仪。您可以选择最适合您的需求和预算的硬件 (图 13)。

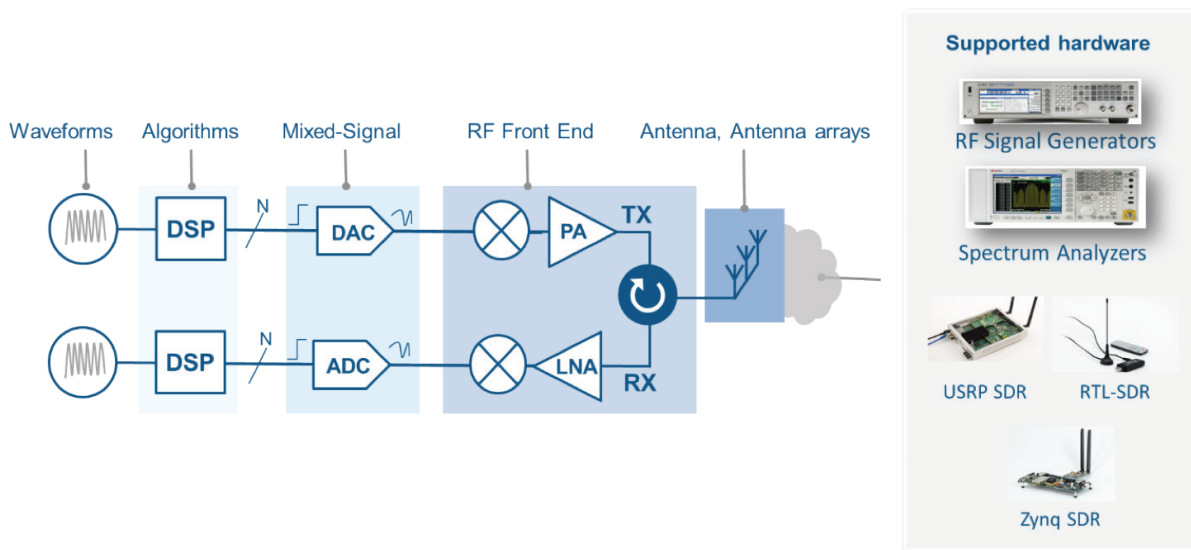


图 13: MATLAB 和 Simulink 支持使用一系列可用的 SDR 和 RF 仪器硬件进行 over-the-air 测试。

案例研究: 采用 SDR 硬件的 LTE 小区扫描仪

本示例结合使用 MATLAB、LTE System Toolbox™ 和 SDR 平台来扫描来自附近基站的可用 LTE 信号的频带 (如图 14 所示), 并解码小区特定信息。

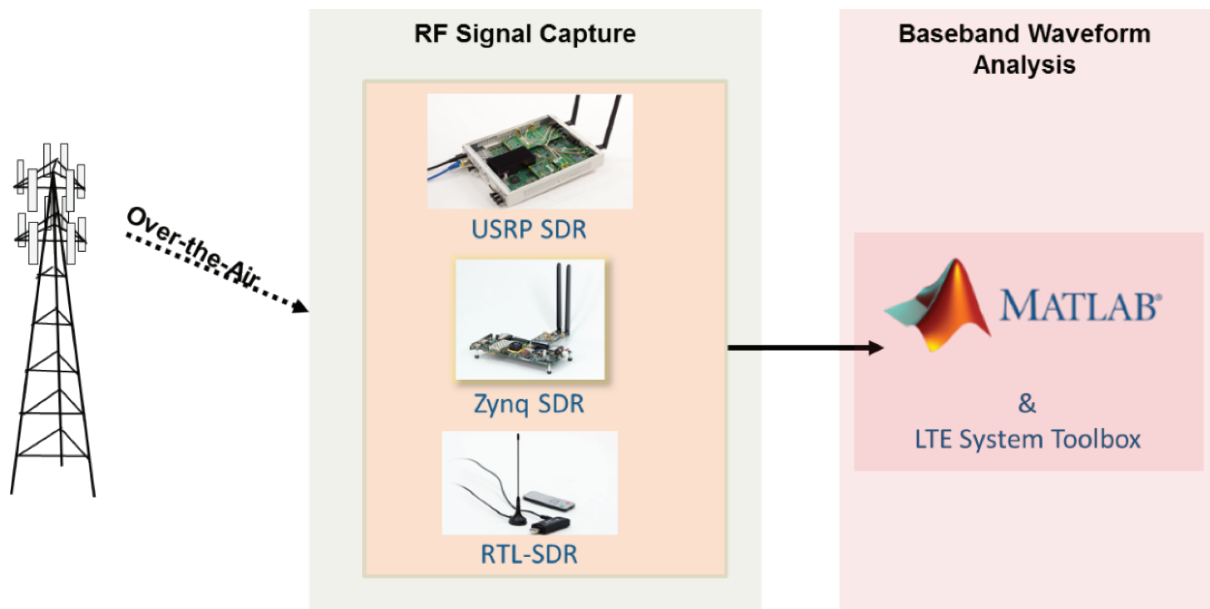


图 14: 使用 SDR 硬件与 MATLAB 扫描 LTE 信号。该分析独立于硬件, 并且可以与图示的任意无线电平台一起使用。

SDR 平台使用以 100 kHz 为步长的载波频率搜索整个频带 (或一部分)。捕获的信号被解调到基带并传递至 LTE System Toolbox, 以执行小区搜索步骤。该扫描仪可以解码主信息块 (MIB) 和系统信息块 1 (SIB 1), 提供所找到小区的相关信息。

图 15 所示的应用程序驱动信号捕获和解码操作。它还可以绘制整个所选频带的频谱, 以帮助识别 LTE 信号的可能位置。该应用程序提供对算法的关键参数的简单控制, 并且可以通过调整相应的 MATLAB 代码来实现更精细的控制或获取不同的信息。

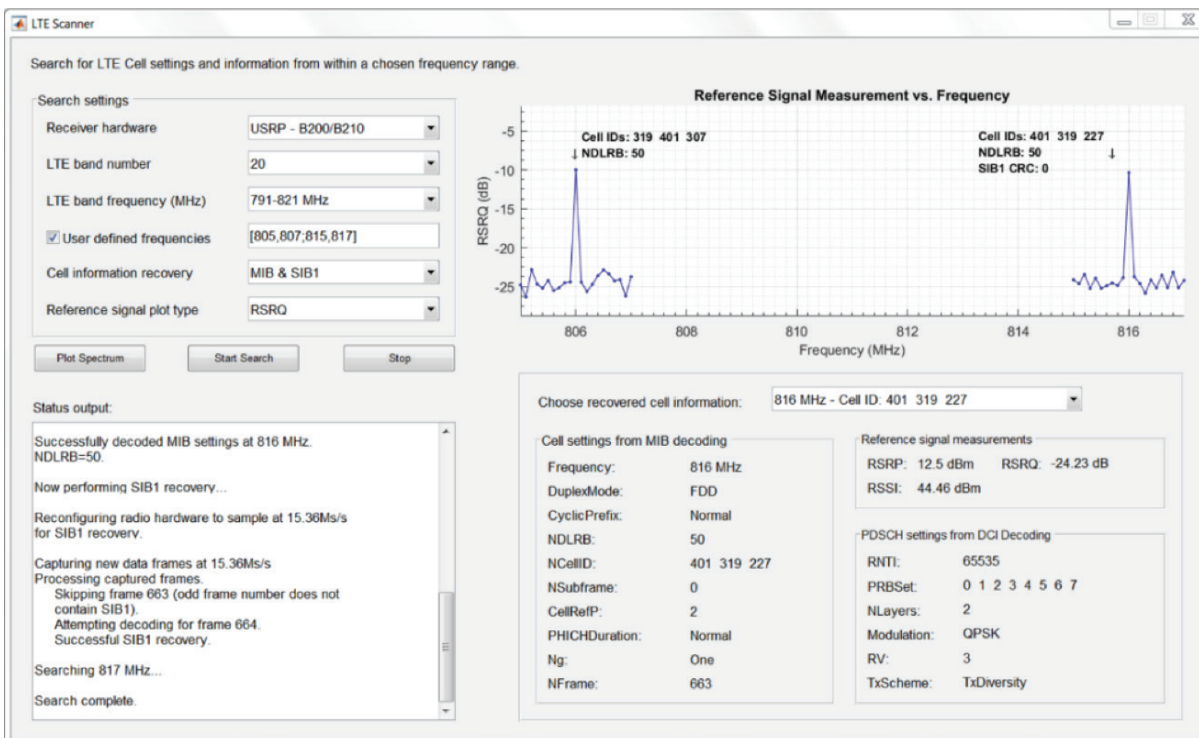
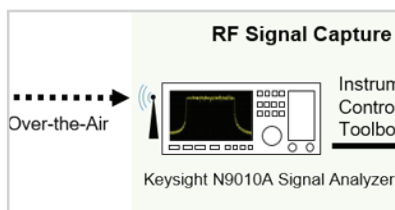
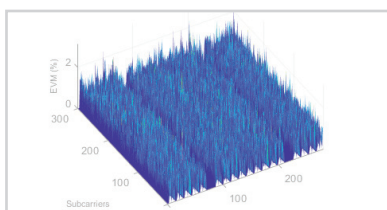


图 15: LTE 小区扫描仪应用程序。

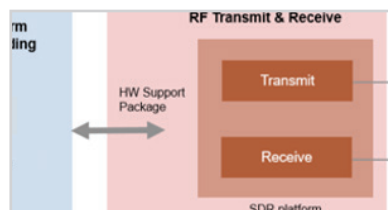
了解更多关于借助 RF 仪器和软件无线电进行测试的信息



使用 T&M 仪器生成和发射 LTE 波形



使用 T&M 仪器获取和分析 LTE 波形



使用 USRP® E310 发射和接收 WLAN 数据包

无线原型建立和实现

基于 FPGA 和 SoC 的 SDR 平台的原型开发工作流程

利用基于模型设计，您可以设计无线发射机或接收机模型，以及为 FPGA 和 SoC 生成 HDL 和 C 代码。一旦您有了在 MATLAB 中运行的已经过仿真和 over-the-air 测试验证的浮点设计，就可以将算法迭代地转换为硬件适应的定点 Simulink 模型，并将设计部署到目标系统（图 16）。

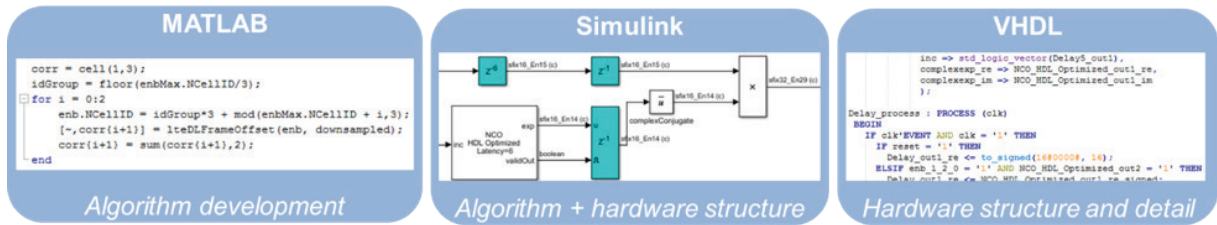


图 16: 算法和硬件设计环境。算法开发人员使用 MATLAB；硬件设计人员使用 VHDL 或 Verilog。Simulink 缩短了这一差距，使这两个角色能够实现更高质量的合作。

在为设计的每个元素建立原型时，PC 模型的其余部分作为目标实现的测试平台。该工作流程支持设计划分，以便为实现的硬件和软件部分生成 HDL 和 C 代码。图 17 显示了从纯仿真到 RF 测试的渐进过程。

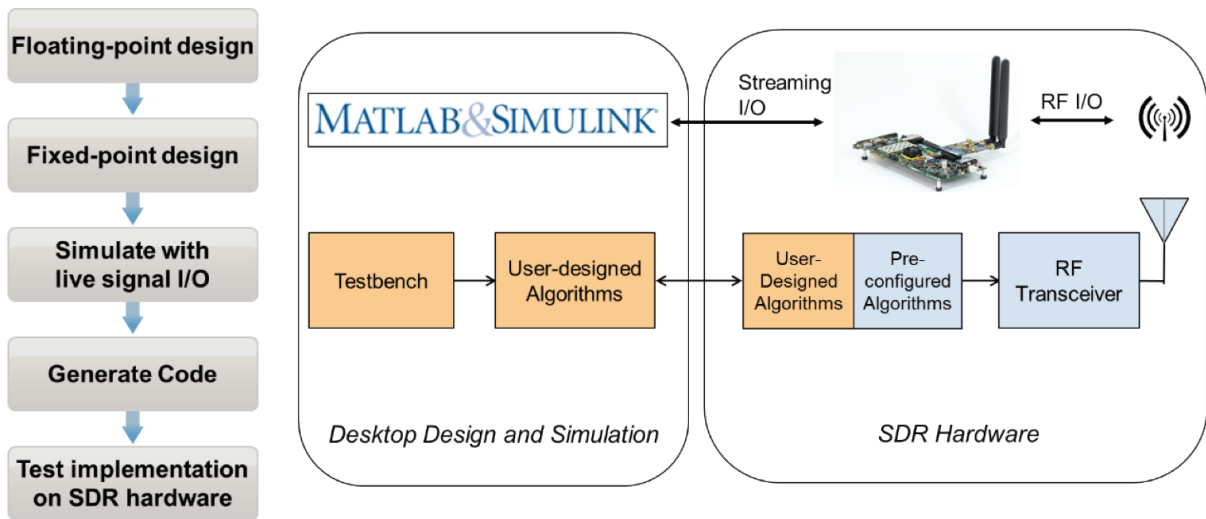


图 17: 将算法从仿真迁移到硬件的工作流程。用户设计的组件以橙色显示，预配置的 SDR 框架以蓝色显示。

该工作流程包括以下步骤：

- 以可编程 SoC 上的 FPGA 结构和 ARM® 处理器为目标，将 Simulink 模型划分为多个功能
- 完善模型以优化生成的 HDL 代码的性能
- 从算法模型生成 HDL 和 C 代码
- 在无线电平台上集成和测试生成的代码

在此过程结束时，将生成经完全验证的 SDR 系统，运行从 Simulink 模型自动生成的 C 和 HDL 代码，并实时发送或接收信号。

案例研究：FPGA 和 ASIC 实现的 HDL 代码优化

基于模型设计并不止于原型的建立。无线工程师成功地使用 MATLAB 和 Simulink 与自动 HDL 生成，生成符合生产 FPGA 和 ASIC 设计的性能、尺寸和功率要求的算法实现。针对多速率滤波、数字预失真和基带处理等算法，迭代工作流程支持快速开发和验证其高效硬件实现。

图 18 显示了 LTE OFDM 调制器和检测器的 Simulink 模型（上部），以及检测算法的 HDL 实现就绪模型

（下部）。检测器执行频率估计和校正、PSS 检测、定时调整、FFT 和 SSS 检测，以便确定检测到的小区组的 LTE 小区标识。使用 LTE 兼容的信号发生器验证了该模型，并在仿真以及 Zynq® SDR 上运行的 over-the-air 测试中都成功检测到小区标识。该模型生成独立于硬件的 HDL 代码，可用于任何 FPGA 或 ASIC。可以通过修改模型和重新生成 HDL 代码对其他架构执行优化，并使用 Simulink 测试平台进行验证。

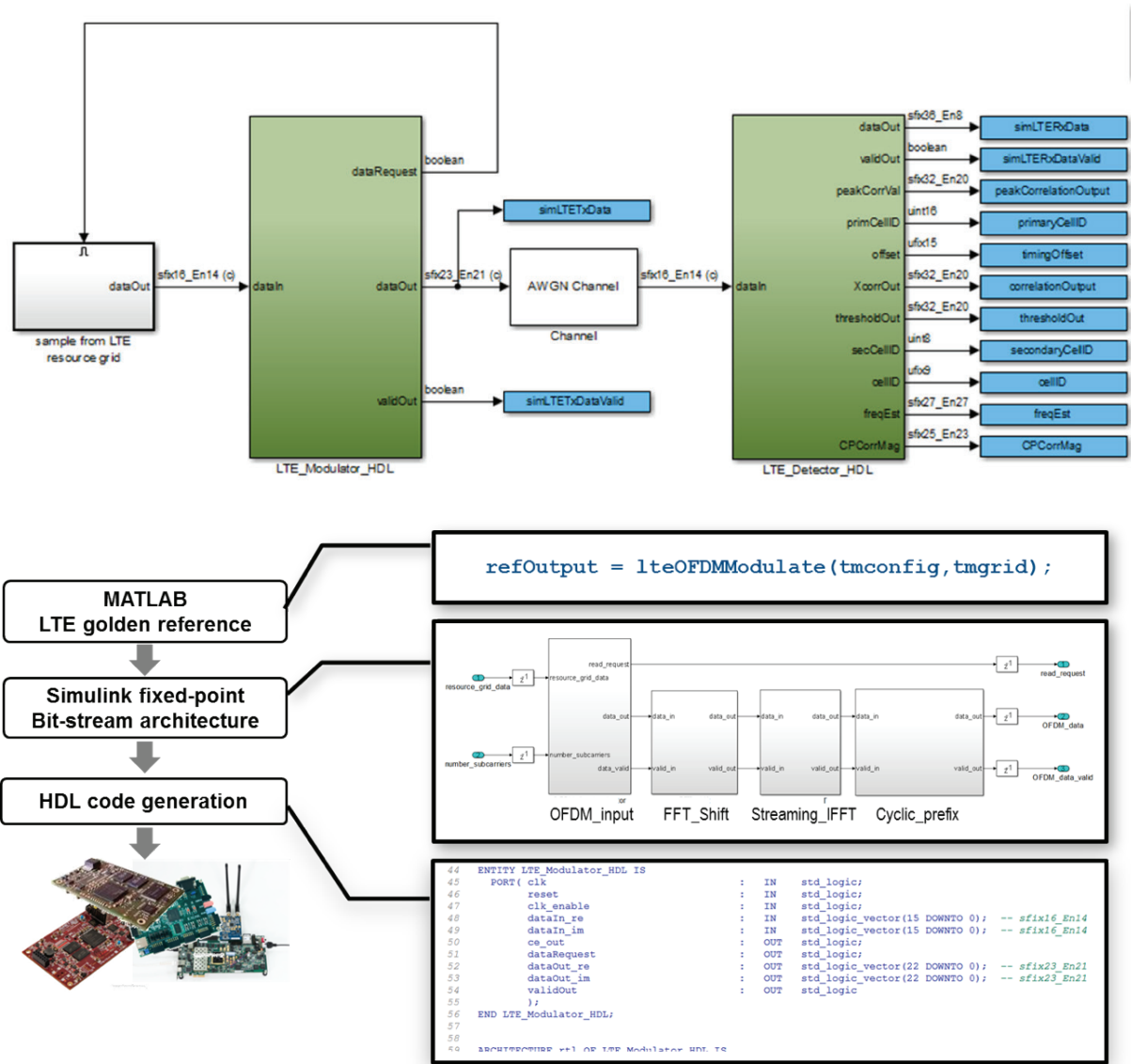


图 18: LTE 兼容调制器和检测器的 Simulink 模型 (上部), 以及用于设计和验证调制器子系统的 HDL 实现的工作流程 (下部)。

了解更多关于无线原型建立和实现的信息



在 FPGA 上部署 LTE 无线通信

小结

紧跟先进无线技术发展步伐的竞争正在推动无线设计工具和方法的创新。先进无线产品需要不断提高技术集成水平。

成功的无线工程团队认识到他们需要的工作环境可以囊括算法设计、系统仿真、over-the-air 测试、原型开发和实现。与仍在孤立地进行设计的团队相比，充分利用 MATLAB 和基于模型设计所提供的早期设计集成的团队报告称，整体开发时间节省可达 30%，功能验证时间节省可达 85%，重新设计的情况显著减少，且开创了首次尝试便无缺陷地实现的先例。

其中许多团队认识到，他们可以通过使用 MATLAB 对其设计进行仿真、原型开发和验证来更快地交付有效的产品。要了解详细信息和申请免费试用版，请访问 mathworks.com/wireless。

了解有关使用 MATLAB 进行无线设计的更多信息

- [MATLAB 之于无线通信 - 概述](#)

了解领先企业如何使用 MATLAB 进行无线设计

- [高通公司使用 MATLAB 开发 5G RF - 案例研究](#)
- [InterDigital: 推进 5G 无线标准 - 案例研究](#)
- [华为公司开发射频系统 - 案例研究](#)
- [诺基亚: 基于模型的 5G 设计 - 案例研究](#)
- [NanoSemi 提高 5G 及其他 RF 产品的系统效率 - 用户案例](#)
- [BT 优化 Femtocell 部署的系统性能 \(2:36\) - 视频](#)
- [DigitalGlobe 仿真完整的星地通信系统 - 用户案例](#)
- [爱立信: 使用 HDL Coder 设计无线电测试平台 \(22:44\) - 视频](#)