

是德科技

使用灵活的硬/软件测试台探索 5G 共存场景

应用指南

Greg Jue, 是德科技 5G 系统工程师

摘要

我们只需看一下当今的频率分配就可以清楚地得知，5G 技术将不得不适应拥塞而复杂的无线电波。即使在这个狭窄的空间，对更高数据吞吐量的需求仍在继续增长，这也是为什么研究人员继续探寻新的方法，以期通过演进和创新的信号制式更高效地利用可用的频谱。

本白皮书介绍了三组案例研究，并详细讨论了一款适用于研发阶段的灵活的测试台。我们通过一系列示例展示这个测试台的几种不同型号，这些示例着重于 5G 与传统无线信号、5G 与卫星信号以及 LTE 与雷达信号的共存。每种型号的测试台都结合了是德科技的硬件和软件产品，能够对广泛的共存场景进行仿真、模拟、测量和分析。

引言

随着无线频谱变得越来越拥挤，潜在的（非故意的、意料之外的）干扰也在增加。要实现业界预期的性能水平目标并满足用户对于体验质量的期望，关键要看未来 5G 波形与传统 4G/3G 网络、个人局域网 (PAN) 信号、卫星传输、雷达系统等是否能和平共存。

在许多国家，授权频谱的共享是未来政策的一个关键要素，这一点已在 FCC 于 2016 年 7 月发布的声明中得到证实。为了确保 5G 会与现有的商业无线基础设施、非军事雷达信号以及诸如美国国防部 (DoD) 等军事机构共存，共享无线电波给运营商和设备制造商带来了更大的负担。评估潜在的信号场景有助于定义关键技术，从而减轻各类信号之间的干扰影响。

本白皮书介绍了一款灵活的研发测试台，并通过三个案例研究展示了其功能（每个案例研究都包括多个部分）：

- 5G 与传统无线信号共存
- 5G 与卫星信号共存
- LTE 与雷达信号共存

该测试台采用现成的是德科技硬件和软件产品，能够对这些场景进行仿真、模拟、测量和分析。

概述共存的重要性

“共存”的字面定义包括两个方面：“同时一起存在”和“彼此以和平共存”¹。当我们考虑 5G 无线通信的未来时，这两点都具有适用性和相关性。

我们只需简单了解一下当今的频率分配就可以清楚地得知，5G 技术将不得不适应拥塞而复杂的频谱分配。即使在这个狭窄的空间，对于更高数据吞吐量的需求仍在继续增长。作为回应，研究人员也在继续寻找新方法，追求更高效地使用可用频谱。

其中一个例子是在商业 LTE 网络和军用雷达系统之间高效共享频谱的可能性，这种情况可能发生在军事船舶远离港口的沿海地区。另一个例子是在非授权的 5 GHz 工业、科学和医疗 (ISM) 频段中建议使用 LTE，特别是将非授权频段作为辅助信道使用。

认知无线电技术带来了另一种可能性，具有通过动态共享增加频谱利用率的潜力。使用分散频谱管理，认知无线电可以应用动态接入技术，一方面找到并占据频谱中未得到充分利用或“空白”的块，另一方面还要避免对主要用户的干扰。地面电视广播频谱中的空白就是其中一个例子（图 1）。认知算法既可以是反应型，也可以是预测型，如左侧的信号轨迹所示，这个轨迹分裂成了一对频段。

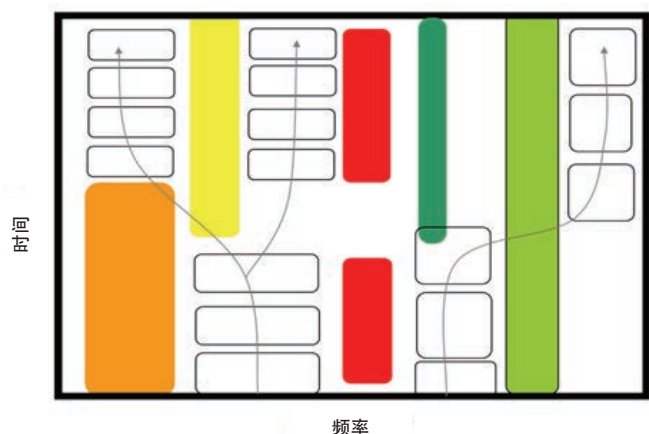


图 1. 认知无线电可以利用动态空白来提高频谱利用率，同时避免对主要用户的干扰。

监管机构正在开放更多频谱

政策制定者试图通过最近的规则实现创新，开放部分 700 MHz 低频段频谱和 28 GHz 高频段频谱。

2016 年 2 月，欧盟 (EU) 提出新规则，将在低频段区域 (694 MHz 至 790 MHz) 开放更多频谱。此外，欧盟还与中国、日本和韩国签订了合作协议。 [1], [2]

2016 年 7 月，美国联邦通信委员会 (FCC) 在高频段频谱中为无线宽带分配了 11 GHz 的频谱。这包括 3.85 GHz 的授权频谱和 7 GHz 的非授权无线电波：28 GHz (27.5 至 28.35 GHz)、37 GHz (37 至 38.6 GHz) 和 39 GHz (38.6 至 40 GHz) 的超微波柔性应用业务，以及在 64 到 71 GHz 的新非授权频段。 [3]

同样在 2016 年 7 月，白宫宣布了一项名为“高级无线研究平台”

(PAWR) 的新计划。这个行业联盟由美国 Ignite 引领，致力于创建四个城市规模的测试平台。PAWR 是由国家科学基金会 (NSF) 推动的高级无线研究计划 (AWRI) 的一部分。是德科技作为董事会成员参与 PAWR 并提供硬件和软件产品的实物捐助，这些产品得到技术专家的专业技术支持。 [4], [5], [6], [7]

1. <http://www.merriam-webster.com/dictionary/coexist>

图 2 所示的仿真频谱有助于说明这种方式的未来价值。这个 6 GHz 以下频谱共存场景展示了与各种 3G 和 4G 波形（如 GSM、EDGE、LTE 和 W-CDMA）交错的几个 5G 候选波形（如 FBMC、UFMC、GFDM）。仿真的 5G 候选波形是理想的表述，相比其对应的 3G 和 4G 波形而言具有低得多的带外频谱发射。当然，在信号通过真实的硬件处理之后，这种特性可能显著不同。

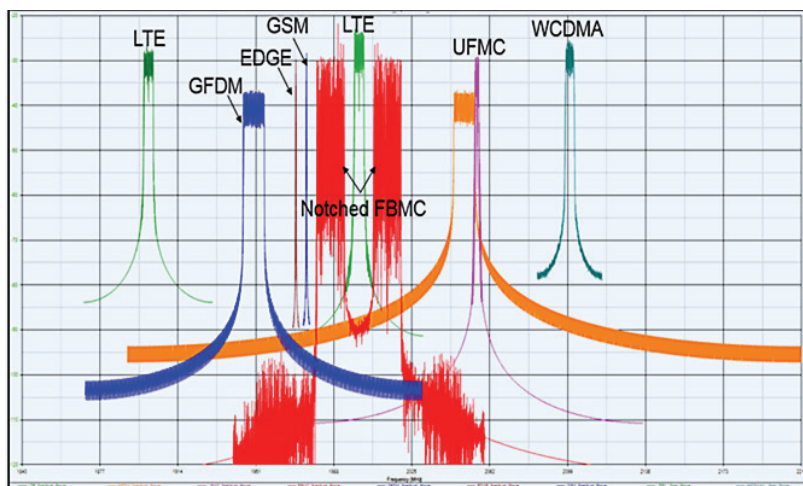


图 2. 对于 5G 而言，在频谱低于 6 GHz 的部分中，共存将不可避免。

在任何给定的场景中，我们需要回答几个关键问题：

- 波形如何相互作用？
- 需要多少带外抑制？
- 需要多少保护频带？

仿真软件和测量硬件的灵活性将有助于找出这些问题的答案。有了这些工具，潜在的用例是生成各种干扰场景（包括所需的信号以及潜在的干扰源），然后将这些干扰场景馈送到接收机硬件，以便调查其对于系统性能的影响。

使用软件生成这样的场景具有灵活性，并且还开启了一扇大门，创建当前利用现有硬件难以生成的信号。此外，它能够在没有原型 5G 硬件的情况下创建 5G 候选波形，并且还支持在相关硬件系统（如卫星或雷达系统）不可使用时生成信号。

所有这些概念构成下文中提出和展示的研发测试台背后的驱动理念。

勾画候选波形

在 5G 的开发中, 研究人员正在对众多候选波形的优点和缺点进行评估。我们将对几个建议的候选波形加以探讨: 正交频分复用 (OFDM)、滤波器组多载波 (FBMC) 和通用滤波多载波 (UFMC)。

OFDM 目前在 4G 中使用。出于这个原因和其他一些理由, 在 5G 中也考虑通过滤波 OFDM (f-OFDM) 来加以使用。与之相关的一种波形, 广义频分复用 (GFDM), 具有许多相似之处, 但是载波不正交。

FBMC 在每个子载波的基础上应用滤波, 而这也提供了改进的带外频谱特性。其灵活的基带滤波方法取决于多相网络或扩展快速傅里叶逆变换 (IFFT) 滤波器。

UFMC 也被称为通用滤波 OFDM (UF-OFDM), 它在每个子带的基础上应用滤波 (例如, FBMC 的子载波组就是一个特例, 它是单个子载波构成的一组)。这种方法潜在的好处是降低了基带算法的复杂性。

图 3 使用一组仿真波形来比较 OFDM 与 FBMC、UFMC (UF-OFDM) 和 GFDM:

- 左迹线: 两个 FBMC 示例采用等于 3 (绿色) 和 4 (红色) 的滤波器重叠系数进行配置。
- 中迹线: UFMC 示例采用 Dolph-Chebyshev 滤波器, 旁瓣电平为 -40 dB (绿色) 和 -120 dB (红色)。
- 右迹线: 两个 GFDM 示例使用根升余弦 (RRC) 滤波器, 其中一个 (绿色) 具有在 OFDM 中使用的循环前缀, 另一个 (红色) 则没有。

创建和分析候选波形



是德科技的信号优化软件为研发工程师提供了更多的时间, 让他们能专注于打造领先市场的设计。它通过一体化功能实现 5G 候选波形的信号创建和信号分析, 这些波形包括: FBMC、f-OFDM、5G 增强型 LTE 等。数字调制信号创建和分析软件 K3102A 是 K3101A 基础软件的延伸, 具有 5G 开发所需的基本功能:

信号创建

- 使用引导框图创建波形并下载到信号发生器或任意波形发生器
- 使用熟悉而简单的 Signal Studio N7608B 用户菜单编辑信号配置
- 从 Signal Studio N7608B-EFP 自定义 I/Q 导入设置文件

信号分析

- 表征 EVM 和数字调制或定制 I/Q 的其他信号质量指标
- 查看与 89600 矢量信号分析仪自定义 I/Q (选件 BHK) 类似的表和迹线中的 EVM 和其他指标
- 两个配套产品增加了在 LTE FDD (K3103A) 和 OFDM (K3104A) 上 5G 候选调制的信号创建和分析功能。

www.keysight.com/find/signaloptimizer

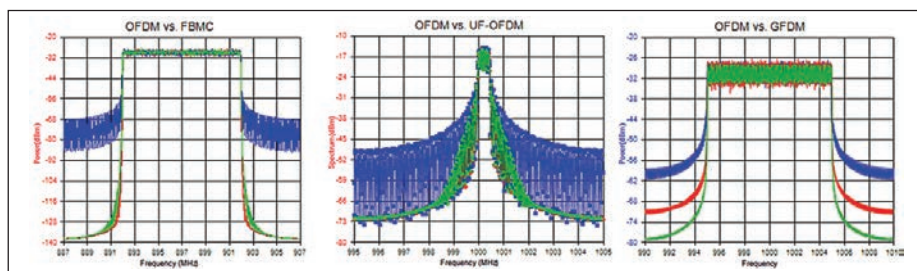


图 3. 在与 OFDM 的这些比较中，5G 候选波形可能为相邻用户提供更好的结果。

如全部三条迹线中清晰可见，OFDM 具有高旁瓣（如带外发射），可能会对相邻用户造成不利影响。这三种替代方案具有潜在更好的带外性能，因此可以使用更小的频率防护带，并能确保更高的频谱效率。它的潜在好处包括为相邻用户提供更好的系统性能，以及增加能利用可用频谱的用户数量。²

检查共存: 5G/4G/3G/PAN 案例研究

我们的第一个案例研究描述的是一个可能的近期场景：5G 信号与 4G、3G 和 PAN 信号一起运行。这里，5G 信号是 FBMC，4G 波形是 LTE。

图 4 是用于创建这些共存场景的灵活测试台的照片。左上角的大屏幕所示为 89600 矢量信号分析仪软件，它在位于显示器下方的 N9030B PXA X 系列信号分析仪上运行。右上角的屏幕所示为 SystemVue 电子系统级 (ESL) 软件，这是一个电子设计自动化 (EDA) 环境，使得系统架构师和算法开发人员能够在物理 (PHY) 层进行创新。SystemVue 及其 5G 基带库 (W1906EP) 在显示器下方的 AXIe 机箱 (M9505A) 中安装的高性能嵌入式控制器 (M9537A) 上运行。机箱还包含一个双通道 M8190A 12 GSa/s 任意波形发生器 (AWG)，即占用了中间两个插槽的 2U 模块。

2. 有关 5G 候选波形的更多信息，请参阅是德科技白皮书《实施用于 5G 波形生成和分析的灵活测试台》，5992-0519CHCN。

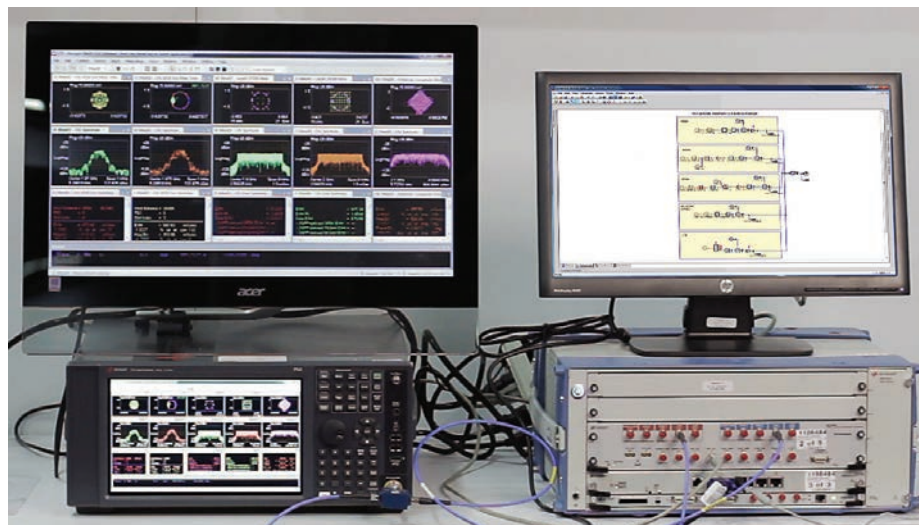


图 4. 这种配置结合了现成的硬件和软件元素，为共存调查提供了灵活的测试台。

由于仿真信号都低于 5 GHz，因此这个配置可以使用 M8190A 的两个输出通道来生成各种信号：通道 1 将生成 5G 候选信号，通道 2 将生成包含传统 3G、4G 和 PAN 信号的单个波形。这两个通道使用连接到 PXA 信号分析仪输入端的外部分频器组合在一起。PXA 和 89600 矢量信号分析仪软件用于分析复合信号。

LTE 和 FBMC 信号使用 SystemVue 的原理图式接口生成（图 5）。单独的 LTE 和 FBMC 信号源生成复值波形，然后使用 I/Q 调制器将这些波形施加到载波信号上。这些波形被馈送到“信号组合器”元件中，在软件内生成单个复合波形，然后下载到 M8190A 任意波形发生器。

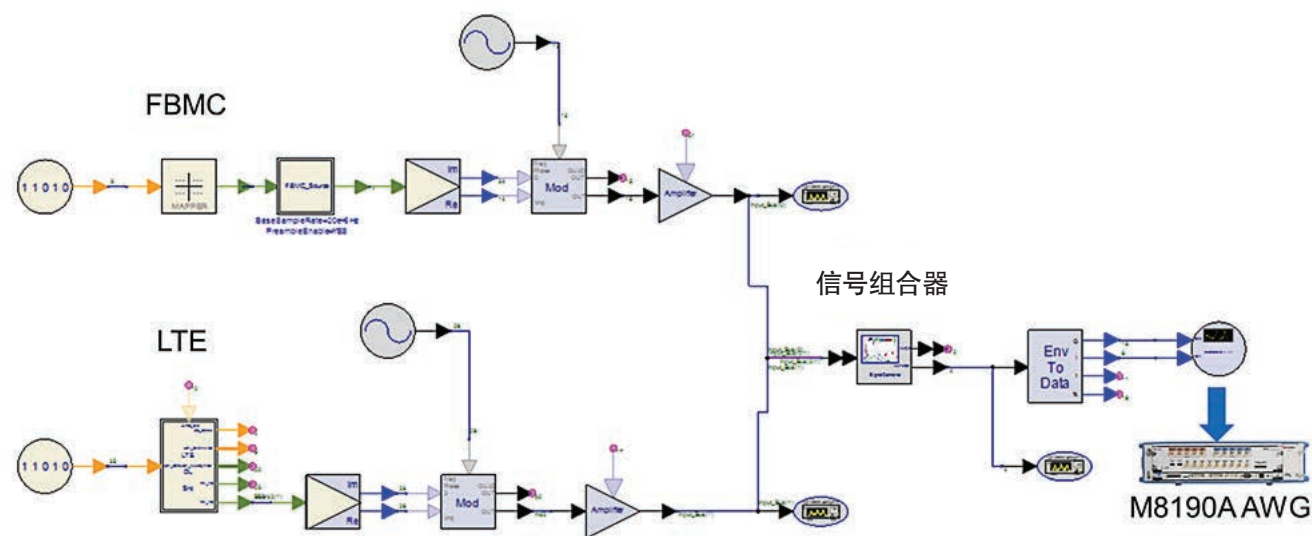


图 5. 此注释图描绘的是 SystemVue 的快速、高效原理图式用户界面。

信号组合器是重采样技术的突破。它能够通过重采样相应波形来组合具有不同中心频率、带宽和采样速率的波形，并生成具有用户定义采样速率的复合波形，与任意波形发生器中的采样速率匹配。

第 1 部分: FBMC 与 LTE 共存

第一步是使用 PXA 来测量在 SystemVue 中建模并由 M8190A 生成的 FBMC 和 LTE 频谱。如图 6 所示，FBMC 信号的带外滚降比 LTE (OFDM) 信号的带外滚降更加尖锐。这是因为在 FBMC 中使用了按子载波滤波。

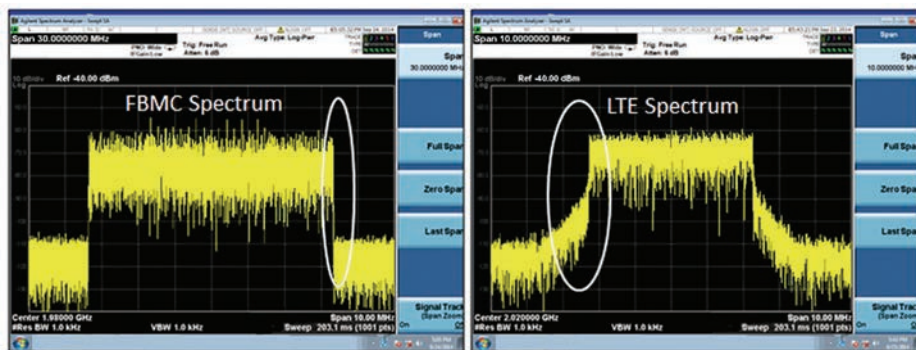


图 6. 利用其更加尖锐的带外滚降，FBMC 比当今 LTE 系统中部署的 OFDM 具有优势。

为了评估 LTE 在部分空出的 FBMC 信号中的共存，我们修改了 SystemVue 中的场景，以便在 FBMC 信号中滤出 90 个活动子载波。接下来，我们设置 LTE 中心频率，将其置于陷波的中间（图 7 左侧）。在图 7 右侧，屏幕图像所示为使用在 PXA 上运行的 89600 软件进行的测量：利用该陷波配置，LTE 误差向量幅度 (EVM) 大约为 0.6%，这表示带外 FBMC 组件对 LTE 信号造成的影响最小。

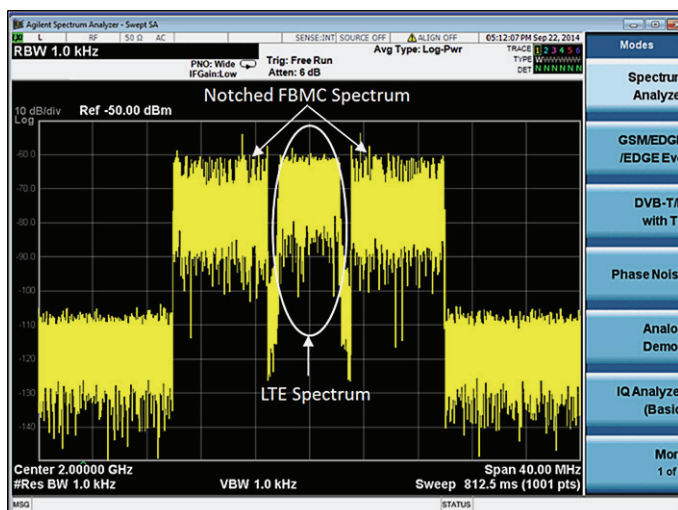


图 7. 使用 89600 矢量信号分析仪软件分析频谱测量结果(上), 生成各种有用的迹线, 包括误差汇总(下屏, 右上迹线)。它显示出 LTE 信号的 EVM 为 0.6%。

使用 SystemVue, 我们对 LTE EVM 与 FBMC 信号中陷波宽度缩小的关系进行评估。图 8 描绘的是 LTE EVM (垂直轴) 与 FBMC 陷波宽度的关系, 以停用子载波的数量 (水平轴) 来表示。从左向右移动, 当陷波小于 70 个载波宽度时, 效果变得更为显著。

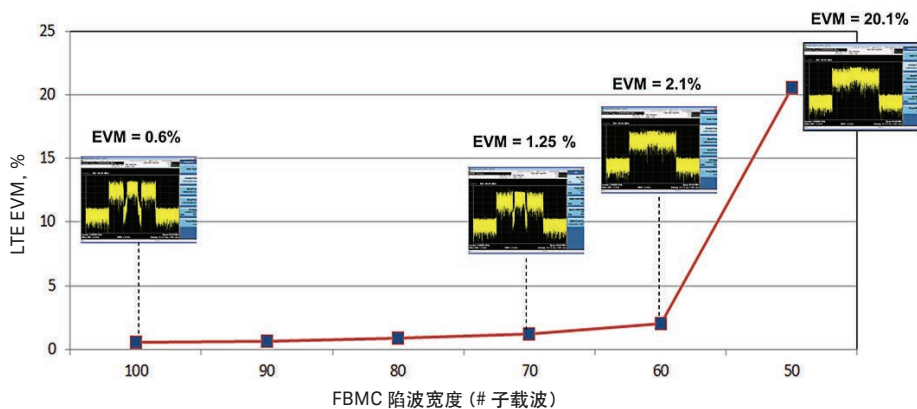


图 8. 从左到右, 干扰增加, EVM 随着 FBMC 陷波的宽度缩小而降低。

另一点值得一提: 如果我们要让 FBMC 波形通过压缩中的发射机功率放大器 (PA), 那么, 该 FBMC 信号的频谱再生长可能也会对 LTE 信号产生负面影响。

这种类型的共存场景可用于确定在两个波形之间需要多大的防护频带才能使频谱效率最大化。在这种情况下, EVM 是发射机质量的指标, 也可用于衡量干扰效应; 与此相似的是, 比特误码率 (BER) 和吞吐率都可以用作接收机性能指标。

第 2 部分: 损伤的影响

为了对损伤的影响建模,我们在 SystemVue 原理图中添加了一台带有功率放大器的发射机。FBMC 源产生中频 (IF),中频使用混频器和本振进行带通滤波并上变频到 2 GHz。接下来,在进入压缩点为 1 dB 的功率放大器之前,它再次经过带通滤波,以建立放大器的非线性特性模型。

如前所述,该信号和 LTE 波形被发送到信号组合器,以便进行重采样,并混合成复合波形。与通过硬件来生成和分析信号不同的是,这个过程只在仿真中进行。它通过使用 SystemVue 中 89600 矢量信号分析仪软件的测量功能来实现。

我们对于 1-dB 压缩点采用两个值来运行仿真,这两个值分别是 30 dBm 和 27 dBm (如射频损伤)。图 9 所示为 30 dBm 的例子:仿真频谱位于左侧 (FBMC 为蓝色, LTE 为红色),89600 分析位于右侧。来自仿真功率放大器的频谱再生生长填充陷波,其结果是陷波比之前的例子浅。在 89600 迹线中,右下图显示 EVM 为 2.1%,这是由于频谱再生长的影响所导致。

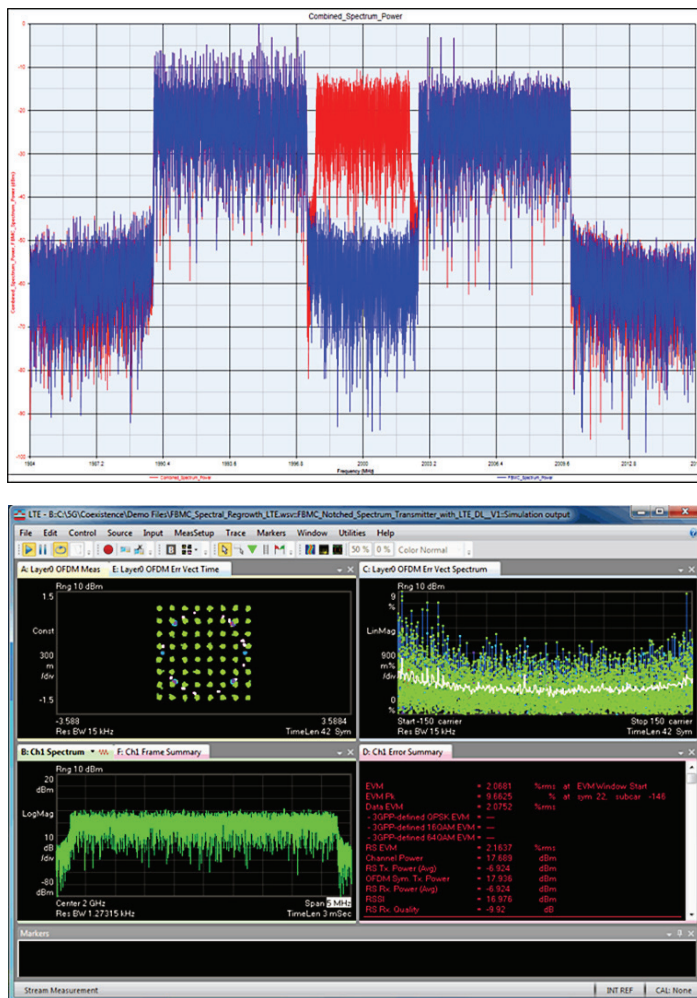


图 9. 在仿真中,在 30 dBm 处使用 1 dB 压缩点的性能足够。

图 10 所示为 1 dB 压缩点降至 27 dBm 时的结果。陷波中出现了更多的频谱再生, 并且由于干扰增加, EVM 值已经上升到了 3.6%。

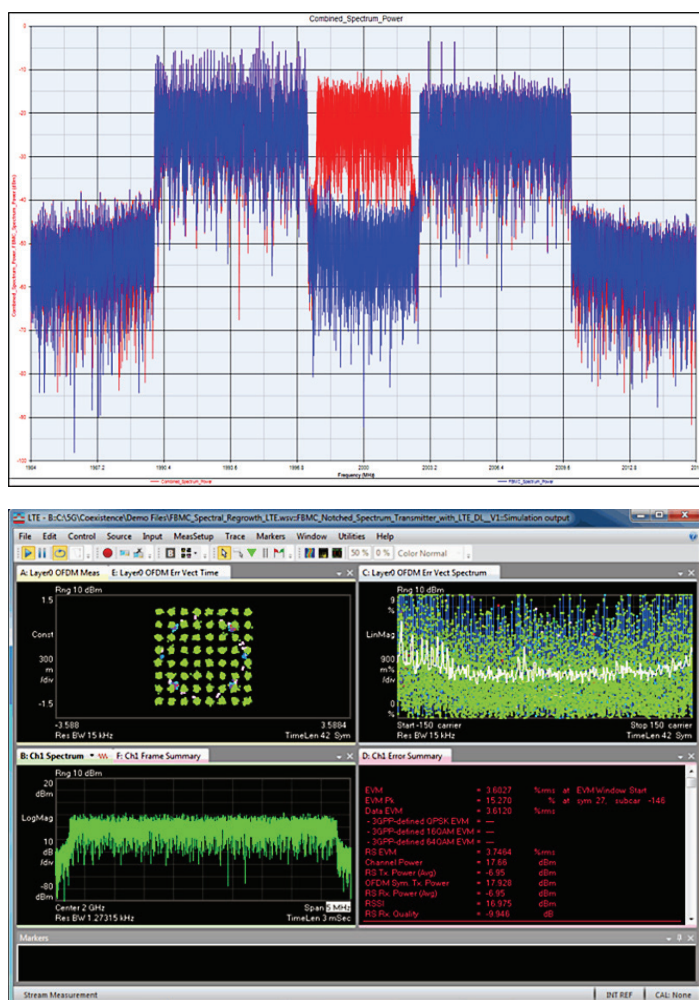


图 10. 将 1 dB 压缩点移至 27 dBm 会影响信号的共存, 并导致明显的性能下降。

这说明了一个重要问题: 功率放大器中的射频损伤影响了 FBMC 和 LTE 波形的共存。概括来说, 射频设计性能可能会对 5G 候选波形的基带性能产生重大影响。

如果您是系统工程师, 当您在对基带波形要求和射频设计要求进行权衡时, 这可能是一个重要的考虑因素。实际上, 不能保持基带波形特性的射频性能可能会影响到 5G 候选波形预期的带外性能。

第 3 部分: 扩展仿真

为了完成这方面的探讨,我们要回到在本例开始时所描述的过程。使用 M8190A 任意波形发生器时,通道 1 生成 5G 候选信号(中心频率为 2 GHz,采样速率为 1.2 GHz),通道 2 则生成传统 3G、4G 和 PAN 波形(中心频率为 2.2 GHz,采样速率为 1.2 GHz)。图 11 左侧所示为采用 PXA 信号分析仪测得的 5G 波形,右侧所示为传统波形阵列(WLAN 和 Zigbee 是仿真的一部分,但处于此处所示的 300 MHz 测量范围之外)。

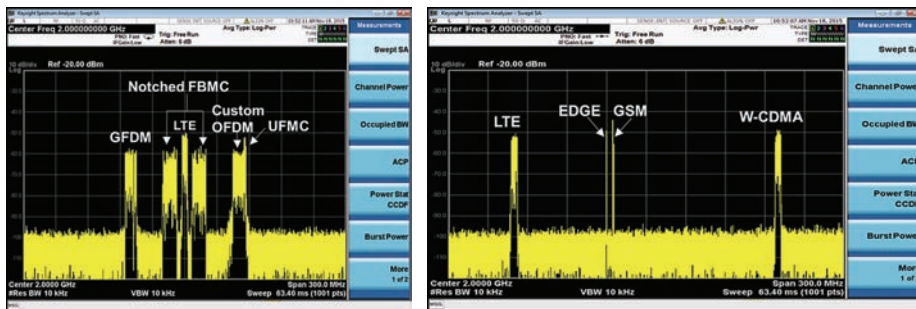


图 11. M8190A 任意波形发生器的通道 1 和 2 用于生成各种 5G 候选波形(左)和传统波形(右)。

使用外部分频器组合两个通道并使用 PXA 进行测量会产生拥塞的频谱,如图 12 所示。

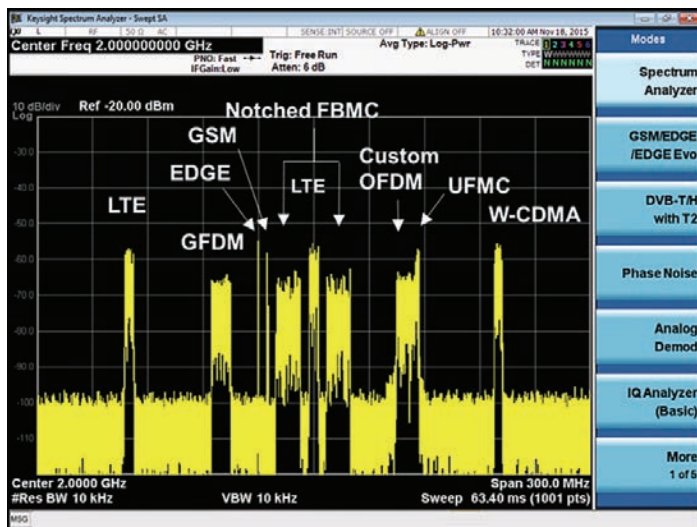


图 12. 组合频谱提示,在确保新信号类型与现有信号类型共存方面存在困难。

除此之外,整个场景可以在 SystemVue 中创建为单个波形并下载到 M8190A,以便使用单个输出通道进行播放。也可以使用其他通道来创建、下载和生成一个或多个单独的信号。通过向测试台的硬件部分添加另一个双通道 M8190A,还可以对这个过程进行扩展。

检查共存: 5G (28 GHz) / 卫星案例研究

我们的第二组案例研究进入 28 GHz 左右的厘米波范围。该区域对于需要高数据吞吐量以及需要与卫星信号共享频谱的应用感兴趣。

图 13 所示照片是在次 6 GHz 示例中使用的系统上扩展的测试台配置。同样, 关键的软件元素是 89600 矢量信号分析仪和 SystemVue (分别位于上右和上中)。M8190A 任意波形发生器 (中间) 仍然是一个主要元素, 在它下面是一个 44 GHz 的 E8267D PSG 矢量信号发生器: 任意波形发生器生成 I 信号和 Q 信号, 用于调制由 PSG 生成的载波信号。信号分析仪是 50 GHz N9040B UXA (右下), 可提供 1 GHz 分析带宽。另一个分析工具是 33 GHz DSOV334A 示波器 (左下)。UXA 和示波器都可以与矢量信号分析仪软件一起使用, 进行波形解调和分析。

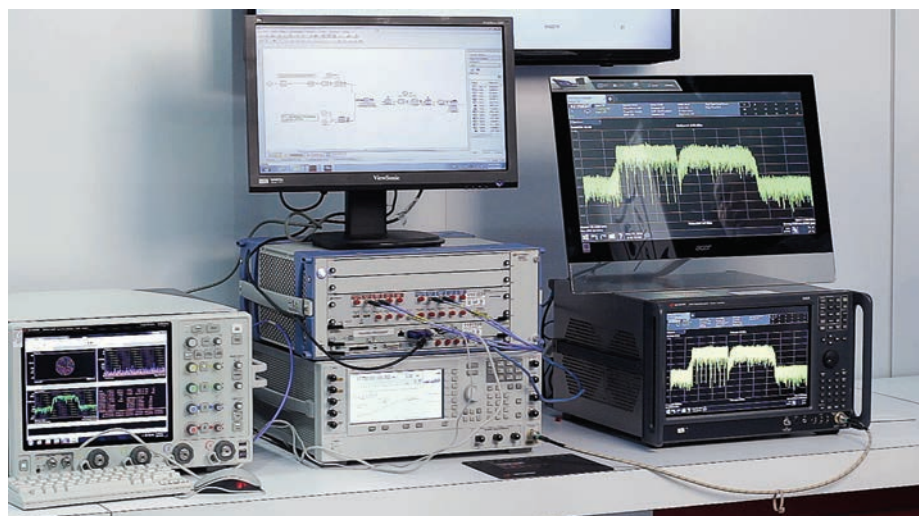


图 13. 增加一台 33 GHz 示波器 (左下) 和一台 44 GHz 矢量信号发生器 (下中), 则可以在分配给 5G 的某些更高频段进行共存评估。

第 1 部分: 在 28 GHz 的共存

为了生成测试场景, 我们使用 SystemVue 来生成宽带卫星波形 (APSK) 和宽带 5G 候选波形 (如定制 OFDM)。如前所述, 这些波形会被重采样, 组合成复合波形, 并下载到任意波形发生器中。M8190A 生成的 I 波形和 Q 波形馈入 PSG 的宽带 I/Q 调制输入并应用于载波信号。图 14 所示为得到的频谱, 它包含定制 OFDM 波形 (左) 和宽带 APSK 卫星波形 (右)。采用矢量信号分析仪软件 (未示出) 进行分析, 可以通过相对清洁的星座图证明波形的和谐共存。

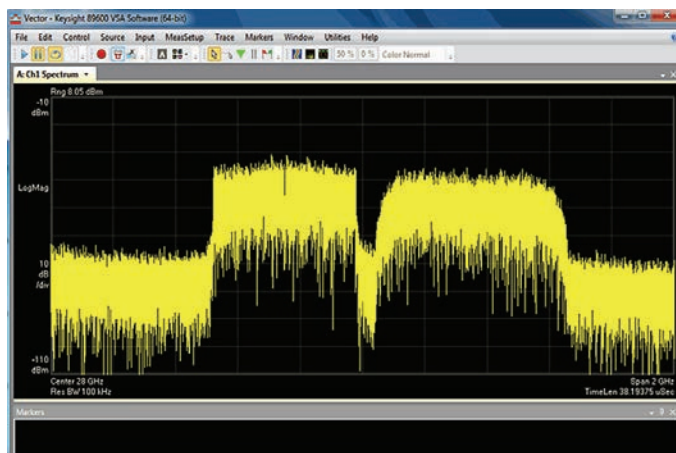


图 14. 更深入的分析证实了该频谱的启发式评估: 信号之间的间隙足够宽, 能支持无干扰的共存。

将卫星信号向 5G 候选波形 (图 15) 移动约 100 MHz, 如此修改仿真之后, 和谐共存不复存在。矢量信号分析仪软件中定制 OFDM 信号的解调结果显示, 在星座图中存在显著的色散, 表明有大量干扰来自卫星信号 (图 16)。



图 15. 信号之间明显的重叠提示存在潜在的冲突而不是共存。

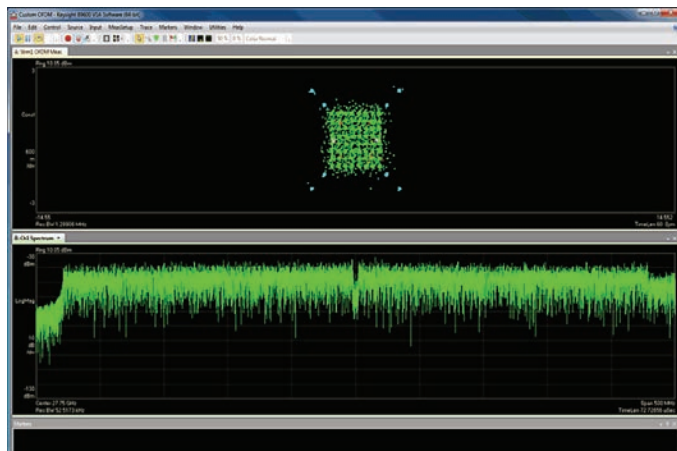


图 16. 使用 89600 矢量信号分析仪软件可以测得，星座图中的色散（上图）证实太靠近的信号会带来不希望出现的影响。

使用矢量信号分析仪软件仔细进行观察，可以看出这种干扰对定制 OFDM 子载波的影响。在图 17 中，白线是平均 EVM 值与子载波，它清楚地显示出在卫星信号对 5G 波形产生干扰的频段边缘（最右边）存在向上趋势。放大后可以看到，蓝色和绿色垂直线表示每个子载波处 EVM 相对于符号的分布，较高的线表示干扰较大。

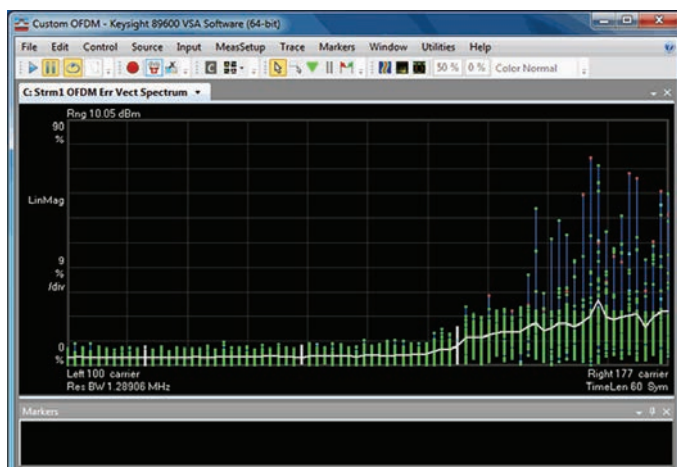


图 17. 放大 EVM 与子载波的显示，突出呈现了频段边缘附近干扰的影响增加。

第 2 部分: 位于 39 GHz 的共享频谱

共享频谱可能也对 39 GHz 频段感兴趣。因为 PSG 具有 44 GHz 的最大频率, 所以可以使用相同的测试台来研究这一区域。

在此例中, 我们使用 SystemVue 来创建多载波卫星信号; 每个载波配置为 QPSK、8 PSK 或 16QAM 波形。5G 候选波形不作改变。图 18 所示为得到的频谱, 卫星信号位于左边, 5G 候选波形位于右边。对这个复杂的信号阵列可以执行与上面第 1 部分中所示类似的实验和分析。

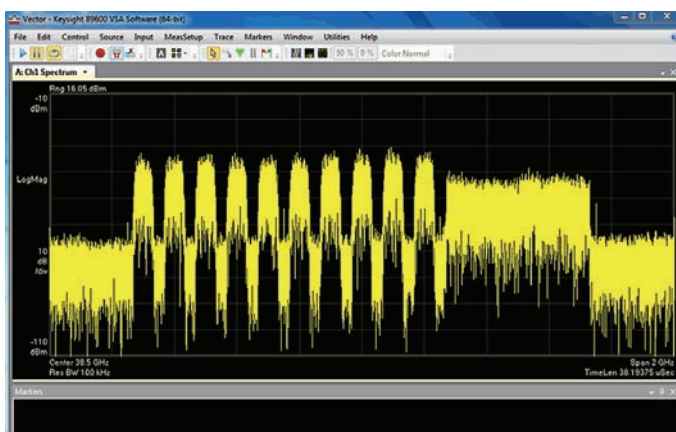


图 18. SystemVue 在潜在干扰场景评估中启用高度复杂信号的仿真。

进入毫米波频谱

在 5G 的探索过程中, 30 到 300 GHz 之间的毫米波 (mmW) 频率是一个重要的研究领域。这些极高的频率具有许多吸引人的特性。例如, 与微波天线相比, 其天线尺寸可以非常小, 并且毫米波天线可以通过小波束宽度实现高度定向。总之, 这些属性都有助于减轻干扰。

对于范围在 10 到 1 mm 的波长而言, 由于大气吸收而造成的损失在氧、水和二氧化碳分子的共振频率处特别高。虽然这看起来可能成问题, 但它实际上通过将诸如 WiGig (802.11ad) 之类的信号限制在约 12 米 (40 英尺) 的范围内来实现频谱重用。

在毫米波频率的仿真、测试和分析工具商业化领域, 是德科技是业界领先的创新者。以 N9041B UXA X 系列信号分析仪为例: 它是第一台覆盖 110 GHz 频率范围的仪器, 具有高达 5 GHz 的最大分析带宽, 并且显示的平均噪声电平 (DANL) 在 50 GHz 以上低至 -150 dBm/Hz。

www.keysight.com/find/millimeter-wave

检查共存: 雷达/LTE 案例研究

在美国, 商业无线行业已提出请求, 在LTE频段与国防部雷达频段重叠处进行频谱共享, 特别是当海军船舶不在沿海地区使用雷达时。根据目前的规定, 军方具有优先权, 商业运营商只有在军方不使用时才能使用该频段。

这一场景带来了另一个关于共存的有趣案例, 采用我们建议的测试台的第三个类别 (图 19), 可以相当容易地对这个案例进行研究。这个测试台的主要元件是 PXI 信号分析仪 (右下)、M8190A 任意波形发生器 (左下) 和 SystemVue (大监视器), 其雷达基带库 (W1905EP) 在 AXIe 机箱中的嵌入式控制器上运行。

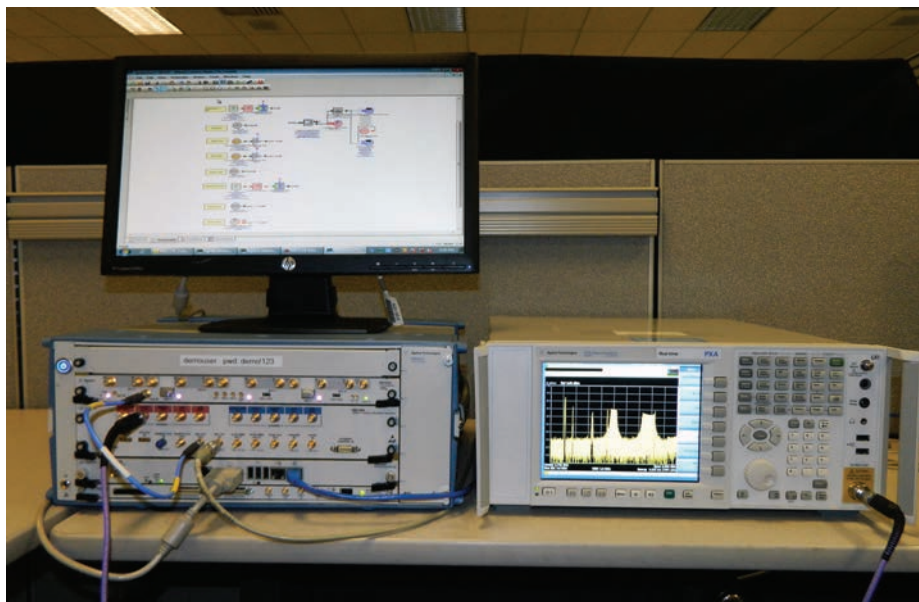


图 19. 这个简化的测试台支持对雷达信号和商业无线信号之间的相互作用进行详细的分析。

我们的场景是 S 波段雷达系统和 LTE 发射机在多发射器环境中共存。在 SystemVue 中构建的完整信号包括八个发射器: 两个 S 波段、一个 LTE、一个 EDGE、一个 GSM、两个 W-CDMA 和一个 WLAN。

第 1 部分: 轻微干扰, 中度退化

为了对共存进行评估, 我们使用 PXA 来测量 LTE 信号的频谱和 EVM 性能。图 20 所示为包括所有发射器的宽带迹线(左)和着重于主雷达信号和 LTE 信号的缩放测量(右)。使用 89600 矢量信号分析仪软件进行分析显示 EVM 为 1.3%, EVM 与子载波迹线的关系显示由于雷达信号的干扰导致了性能下降。

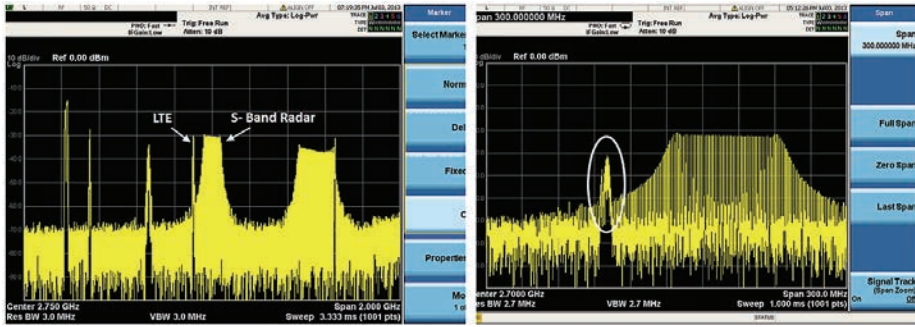


图 20. 在本示例中, 将测量扫宽从 2 GHz 缩小到 300 MHz, 可以更详细地看到 LTE 和雷达信号之间的重叠。

第 2 部分: 更强的干扰, 更大的退化

我们将雷达发射器频率向 LTE 波形移动 50 MHz (图 21 左侧) 来改变场景。在这种情况下, 雷达发射器对 LTE 信号的性能有着更强的影响: EVM 增长到 14.1%, 星座图显示出大量的色散 (图 20 中的较大屏幕)。

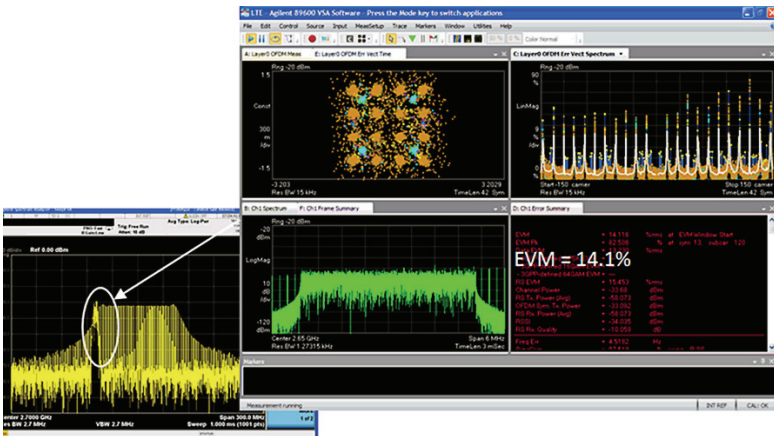


图 21. 在 89600 矢量信号分析仪显示屏中(右), 随着雷达信号侵入 LTE 信号, 色散迹线(左上)以及 EVM 与子载波关系图(右上)更清楚地指出了共存问题。

到目前为止，我们已经强调，EVM 这一发射机指标可以用来判定好的共存或不良的共存。我们将角度变换一下，比特误码率和吞吐量可以作为接收机灵敏度的关键指标，不管是否存在干扰。作为前一示例的另一种表现方式，我们可以评估 S 波段雷达干扰器对仿真 LTE 下行链路的编码比特误码率的影响。在此例中，雷达使用线性频率调制 (LFM) 啁啾技术，其中啁啾中心频率扫过一定范围的值。

图 22 所示为编码 BER (垂直轴) 的方针结果与雷达发射器中心频率 (水平轴) 之间的关系。BER 从 0% 增加近 24%，表明随着 LFM 啁啾扫过 LTE 下行链路频率，信号出现严重退化。

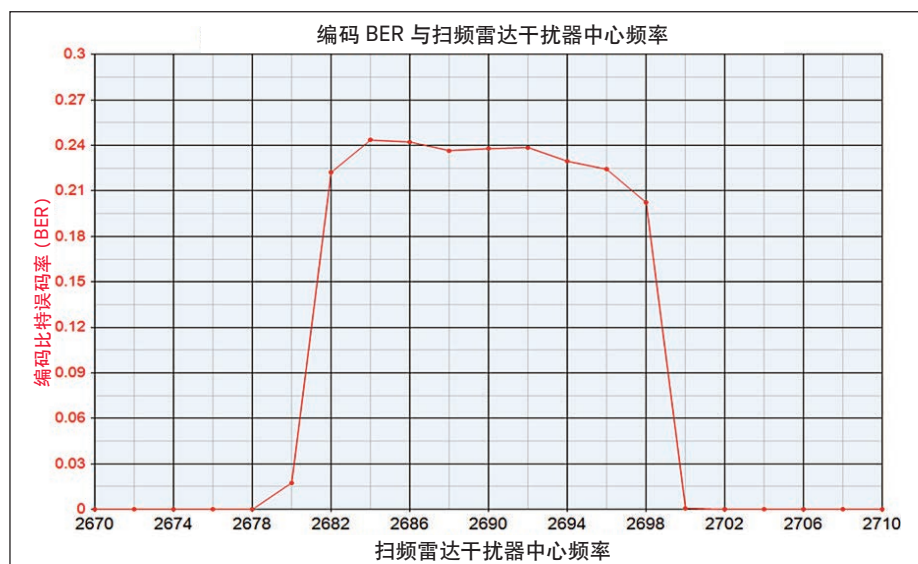


图 22. 测量 BER 并绘制它与雷达干扰器中心频率的关系，突出了潜在的共存问题。

结语

随着 5G 研究和开发日渐成熟，共存将成为一个关键的调查领域，其关注点是新波形与传统波形或商业系统与军事系统之间的相互作用。此处所述的测试台可为多个场景的评测提供一个灵活、可扩展的平台。虽然测试台方法在研发实验室内可行，但它不能取代工作系统在现场进行的测试。

要在 5G 领域成为引领先机的最佳厂商，您需要各种工具来帮助您探索新信号、新场景和新拓扑。是德科技的 5G 解决方案已准备就绪，能为您提供更深入的洞察，让我们与您一起，随着标准的演进不断提升自己的分析能力。在设计和测试过程中，我们的解决方案可以在您将设计创意转变成现实产品时，帮助您针对新的和现有的技术进行创新。竞速已经开始，无论是演进、革新还是现实，是德科技都将助力您引领先机。

www.keysight.com/find/5G-insight

参考资料

1. 情况说明: 欧盟委员会, http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-206_en.htm
2. 网页: 5G 国际合作, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/5G-international-cooperation>
3. 新闻稿: FCC 采取措施推进 24 GHz 以上频谱的移动宽带和下一代无线技术, https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-340301A1.pdf
4. 网页: 高级无线研究平台 (PAWR), <https://www.us-ignite.org/wireless/>
5. 网页: NSF 高级无线研究计划, <https://nsf.gov/cise/advancedwireless/>
6. 情况说明: 当局宣布基于总统的前瞻性宽带政策推出高级无线研究计划, <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2016/07/15/fact-sheet-administration-announces-advanced-wireless-research>
7. 新闻稿: 是德科技概述其对白宫高级无线研究平台 (PAWR) 的承诺, <http://about.keysight.com/en/newsroom/pr/2016/27jul-nr16093.shtml>

相关资料: 应用指南和白皮书

- 白皮书: 通信系统架构师物理层建模指南, 5992-1191CHCN
- 应用指南: 用于评估雷达和无线之间潜在共存问题的灵活测试台, 5991-3809CHCN
- 白皮书: 通信系统架构师物理层建模指南, 5992-1191CHCN
- 白皮书: 5G 候选波形的设计和评估解决方案, 5992-1162CHCN
- 白皮书: 认知无线电算法开发和测试, 5990-4389CHCN

相关资料: 产品

- 手册: 5G 波形生成和分析测试台, 参考解决方案, 5992-1030CHCN
- 手册: 89600 矢量信号分析仪软件, 5990-6553CHCN
- 手册: SystemVue 电子系统级设计软件, 5992-0106CHCN
- 技术概述: Keysight EEsof EDA SystemVue, 5990-4731CHCN
- 手册: Keysight X 系列信号分析仪, 5992-1316CHCN
- 技术资料: UXA X 系列信号分析仪, 多点触摸, N9041B, 5992-1822CHCN
- 技术资料: PXA X 系列信号分析仪, 多点触摸, N9030B, 5992-1317CHCN
- 技术资料: M8190A 任意波形发生器, 5990-7516CHCN
- 手册: Keysight 微波信号发生器, 5991-4876CHCN
- 技术资料: E8267D PSG 矢量信号发生器, 5989-0697CHCN
- 技术资料: Infiniium Z 系列示波器, 5991-3868CHCN

其他资源

- 视频: YouTube 上的是德科技 5G 播放列表
- 网上直播: 用于 5G 波形生成和分析的灵活测试台
- 网上直播: 5G 物理层建模: 通信系统架构师指南
- 网上直播: 了解 5G 以及如何浏览多个物理层协议

演进

我们独有的硬件、软件和技术人员资源组合能够帮助您实现下一次突破。

我们正在开启技术的未来。



从惠普到安捷伦再到是德科技



myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight
个性化视图为您提供最适合自己的信息！

是德科技服务

KEYSIGHT SERVICES

www.keysight.com/find/services

我们拥有业界领先的技术人员、流程和工具，可以提供深度的设计、测试和测量服务。最终的结果就是：我们帮助您应用新技术，以及经工程师改进的流程，从而降低成本。

3 年保修



www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty

是德科技卓越的产品可靠性和广泛的 3 年保修服务完美结合，从另一途径帮助您实现业务目标：增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。

Keysight Assurance Plans



www.keysight.com/find/AssurancePlans

10 年的周密保护以及持续的巨大预算投入，可确保您的仪器符合规范要求，精确的测量让您可以继续高枕无忧。

www.keysight.com/go/quality



是德科技公司

DEKRA 认证 ISO 9001:2015

质量管理体系

是德科技渠道合作伙伴

www.keysight.com/find/channelpartners

黄金搭档：是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息，请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表，请访问：www.keysight.com/find/contactus

是德科技客户服务热线

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863
电子邮件: tm_asia@keysight.com

是德科技 (中国) 有限公司

北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦
电话: 86 010 64396888
传真: 86 010 64390156
邮编: 100102

是德科技 (成都) 有限公司

成都市高新区南部园区天府四街 116 号
电话: 86 28 83108888
传真: 86 28 85330931
邮编: 610041

是德科技香港有限公司

香港北角电器道 169 号康宏汇 25 楼
电话: 852 31977777
传真: 852 25069233

上海分公司

上海市虹口区四川北路 1350 号
利通广场 19 楼
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200080

深圳分公司

深圳市福田区福华一路 6 号
免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元
电话: 86 755 83079588
传真: 86 755 82763181
邮编: 518048

广州分公司

广州市天河区黄埔大道西 76 号
富力盈隆广场 1307 室
电话: 86 20 38390680
传真: 86 20 38390712
邮编: 510623

西安办事处

西安市碑林区南关正街 88 号
长安国际大厦 D 座 501
电话: 86 29 88861357
传真: 86 29 88861355
邮编: 710068

南京办事处

南京市鼓楼区汉中路 2 号
金陵饭店亚太商务楼 8 层
电话: 86 25 66102588
传真: 86 25 66102641
邮编: 210005

苏州办事处

苏州市工业园区苏华路一号
世纪金融大厦 1611 室
电话: 86 512 62532023
传真: 86 512 62887307
邮编: 215021

武汉办事处

武汉市武昌区中南路 99 号
武汉保利广场 18 楼 A 座
电话: 86 27 87119188
传真: 86 27 87119177
邮编: 430071

上海MSD办事处

上海市虹口区欧阳路 196 号
26 号楼一楼 J+H 单元
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200083