

C频段频谱：它如何 改变5G的面貌

白皮书

EXFO

C频段频谱：它如何改变5G的面貌

EXFO

白皮书



Danny Sleiman
EXFO产品线经理

简介

运营商目前正进行大规模投资，升级自己的有线和无线网络基础设施。在运营商开始推出5G服务时，之所以需要进行网络升级和改造，是因为物联网（IoT）生态系统包括数以十亿计的联网设备，会对5G前传网络提出新的要求。为了支持这种前所未有的网络演进和扩展，需要大幅增加网络容量。为实现这种改造，业内开始采用新的频段和先进技术，此类创新将帮助运营商在兑现5G承诺的同时实现盈利。

大多数发展较早的5G市场都在关注中频频谱，尤其是3.5 GHz频段，因为它在覆盖范围、容量和性能之间提供了完美的平衡。本文将探讨属于中频频谱的C频段，以及它在成功提供新5G服务中发挥的重要作用。

5G频谱

分配给5G网络的频段有很多，每个频段都可以归为以下三大类中的一个：低频段（450 MHz - 1 GHz）、中频段（1 GHz - 7 GHz）和高频段（24 GHz - 52 GHz）。C频段已成为关键的5G用中频频谱。它最初的频率范围涵盖4 GHz到8 GHz。但美国联邦通信委员会（FCC）后来将3.7 GHz至4.2 GHz指定为C频段频谱。目前，已有一些在线网络将C频段作为工作频段，超过40个国家在175个网络上推出C频段5G无线服务¹。今年早些时候在美国举行了一次重要的C频段频谱拍卖。此外，包括英国、法国和德国在内的欧洲国家以及包括中国在内的亚太地区多个国家已经部署了在线的C频段5G网络。基本上，大多数国家都在计划或已经部署了一些使用C频段频谱的5G网络。

什么是5G用的C频段频谱？

C频段频谱的频率之前由卫星电视运营商所使用。这些运营商将3.7 GHz至4.2 GHz的频率用于下行链路通信。随着越来越多的用户不再使用卫星电视服务，这种服务所需要的频谱也相应地减少。因此，美国联邦通信委员会将分配给卫星电视的频谱移到更高的频段，将部分中频频谱解放出来，这部分频谱随后被用于5G服务。

C频段最初的重要用例之一是固定无线接入（FWA）。通过固定无线接入，信号发射塔将信号发送到位于室内或室外的用户驻地设备（CPE）。5G FWA将为没有光纤连接的农村地区提供高速的互联网服务。



大多数发展较早的5G市场都在关注中频频谱，尤其是3.5 GHz频段，因为它在覆盖范围、容量和性能之间提供了完美的平衡。

1. Layton, Roslyn. "It's Time For the U.S to let 5G in the C-Band Take Off", Forbes. January 14, 2022 (referenced April 19, 2022) www.forbes.com/sites/roslynlayton/2022/01/14/its-time-for-the-us-to-let-5g-in-the-c-band-take-off/?sh=3c0d7de32289



C频段使运营商能够采用覆盖范围和吞吐量都非常高效的频谱范围，从而建立最佳的5G网络。

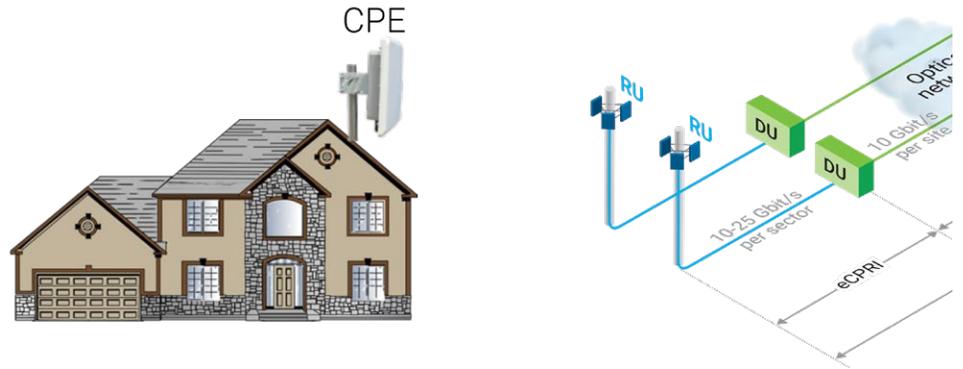


图1: 将5G中频段用于FWA。

最初，当通信业准备推出5G时，有很多人曾探讨使用高频段（FR2）内的毫米波（mmWave）频谱，以满足数据使用量呈指数增长，从而传输大量数据的需求。虽然毫米波对于释放5G的真正潜力非常关键，但这些频率的覆盖范围有限，因为它们不能像较低频率那样传输很远或穿透障碍。因此，必须部署更多的基站才能提供与较低频率相同的覆盖范围（见图2）。C频段（在中频段范围内）是一个比较合适的频段，因为它的带宽和容量比目前正在使用的低频段更高，并且传输距离可以比毫米波更远——使运营商能够更快地部署5G，并以更少的基站覆盖更多的用户。（见图3）。



图2: 用于5G的FR2/毫米波。

简而言之，C频段使运营商能够采用覆盖范围和吞吐量都非常高效的频谱范围，从而建立最佳的5G网络，为用户提供5G服务。

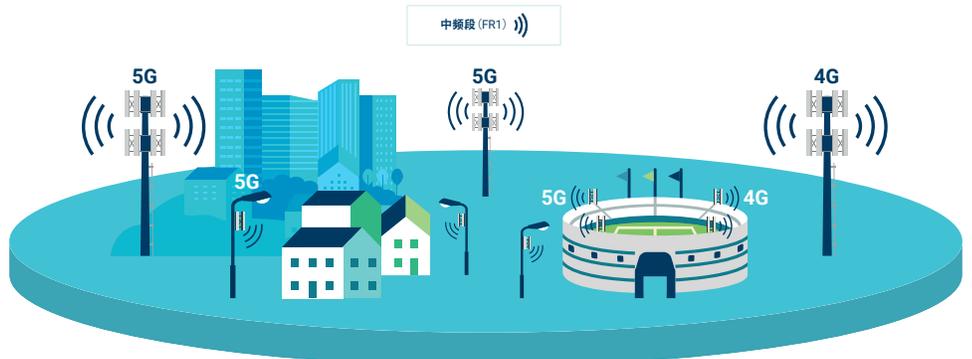


图3: 5G中频段, 包括C频段。

低频段、中频段和高频段

那么，低频段、中频段和高频段有什么区别？在低频段，尤其是LTE所在的低频段，网络覆盖非常好，所以信号可以传输比较长的距离——长达数十公里。然而，由于这些频段的吞吐量较低，因此移动设备可用的速度也较低（见图4）。

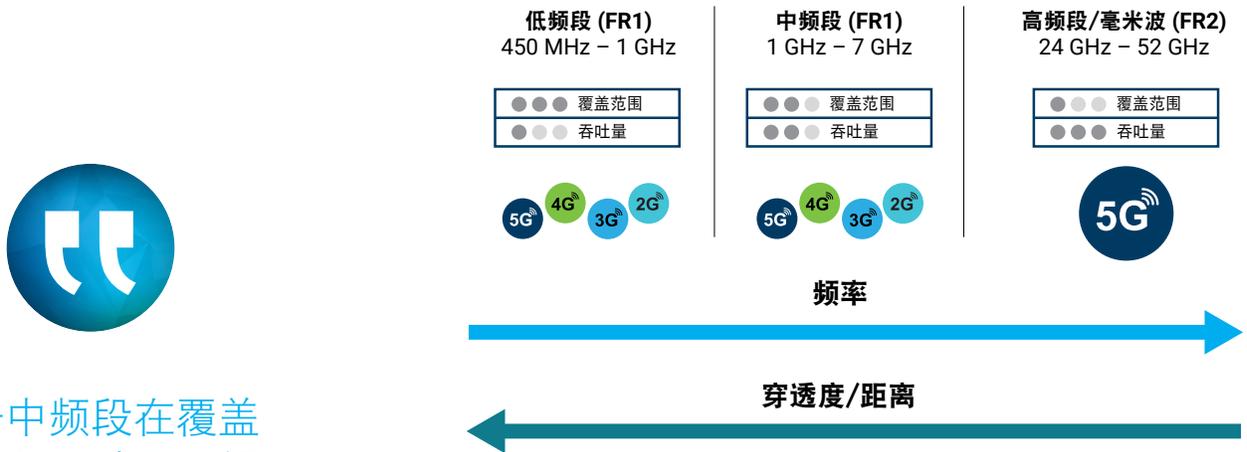


图4: 用于5G的低频段、中频段和高频段。

相对而言，在较高的频段（即毫米波或FR2）中，信号传输距离较短，因此提供的覆盖范围较小，但吞吐量非常高。然而，这项技术的应用需要运营商投入更多的资金。由于在FR2/毫米波上我们可以获得高达400 MHz的未用频谱和带宽，因此这个频谱范围理论上可以为5G应用释放更多的潜力，这些应用不仅在移动设备上，而且在车联网、智能城市、互联工业等方面都需要超低延迟。然而，毫米波的覆盖距离为100米，因此特别适用于体育馆等场所，例如客户在参加活动期间通过5G网络进行现场直播。

这就给我们带来了5G的“超级明星”，即中频段。由于中频段在覆盖范围和吞吐量之间实现了最佳平衡，因此它们能够释放出巨大的潜力，以推出更多的5G服务，并且比预期更快。

尽管中频段最为突出，但一旦完整的5G服务上线，将会混合使用各个频段。原因是我们渴望达到更接近FR2频段（即400 Mhz带宽）的速度，提高吞吐量，同时获得低频段和中频段的良好覆盖范围。这意味着将FR1低频段、FR1中频段和FR2高频段混合起来使用（见图5）。这一全球最佳战略将在运营商向其客户提供各种5G服务的过程中发挥关键作用，同时催生新的应用。



图5: 完整的5G服务。

由于中频段在覆盖范围和吞吐量之间实现了最佳平衡，因此它们能够释放出巨大的潜力，以推出更多的5G服务，并且比预期更快。



波束赋形是一种信号处理技术，可帮助我们克服5G面临的不同技术挑战（例如，通道更宽、频率更高）。

应对5G C频段的技术挑战

在深入研究5G C频段的技术挑战之前，我们先快速了解一下与C频段相关的5G基站的一般设置（见图6）。一旦谈及中频段，整个网络架构将包括射频拉远头（即带集成天线的无线单元，RU）。由于光纤直接连接天线，因此不再使用同轴电缆，而且不需要通过测量基站驻波比（VSWR）和其它传统的PIM指标等来验证光纤和天线系统的性能。尽管如此，可能仍然会存在内部的PIM问题（在天线的发射单元中），但这些基站上的大多数PIM问题都由外部原因造成。

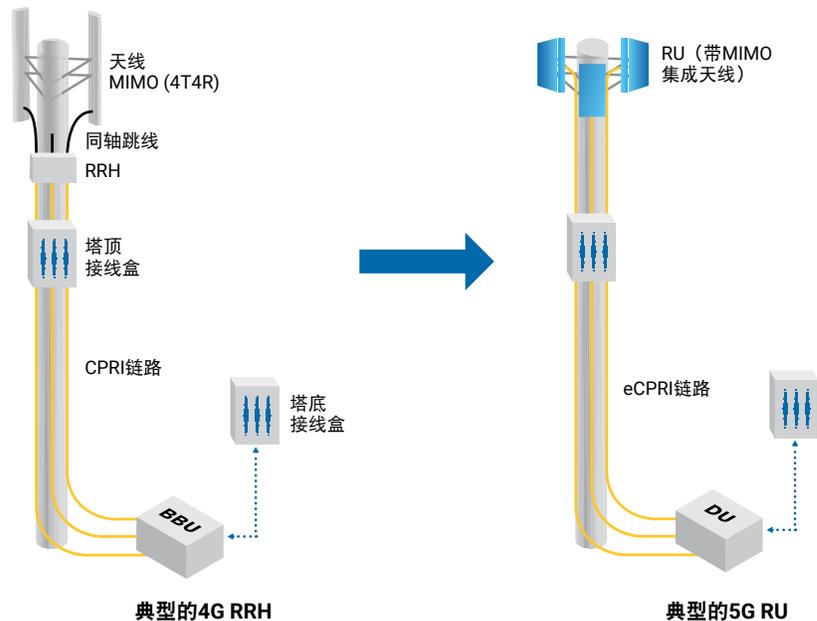


图6: 5G C频段有什么不同?

在中频段/C频段范围内有几种主要技术，包括支持波束赋形和时分双工（TDD）的大规模MIMO技术。我们来看看其中的一些技术。

波束赋形

波束赋形是一种信号处理技术，可帮助我们克服5G面临的不同技术挑战（例如，通道更宽、频率更高）。为了解释波束赋形，我们可以看看在有乐队现场表演的音乐会上会出现什么情况。在音乐会上，当室内灯光亮起时，观众可以看到整个乐队，但无法看到任何乐队成员的更多细节。当聚光灯聚焦在某个乐队成员身上时，观众会更多地关注这个成员而不是其他人。这在概念上与波束赋形相类似，天线可以发射窄波束，而不是宽波束，从而更好地将信号聚焦在特定的接收设备上（见图7）。波束赋形天线利用多个发射单元，将其分组成多个子阵列，采用复杂的信号处理技术，通过改变不同发射单元的相位和幅值来调节波束的方向。如果将射频信号聚焦在特定方向，就可以减少较高频率下通常会出现的传输损耗，这有助于减少某些类型的干扰造成的影响，从而为用户提供更高的信号质量，这是满足不同5G场景需求的关键。

利用新的天线技术，将扇区划分为多个波束，并为属于相同物理小区ID（PCI）的每个波束设置这些功率和质量KPI（RSRP、RSRQ和SINR）。在FR1中，低频段可以有4个波束，中频段最多有8个波束。在FR2中，为了克服更高的传输损耗，我们可以使用更复杂的波束赋形方案，每个PCI最多使用64个波束。

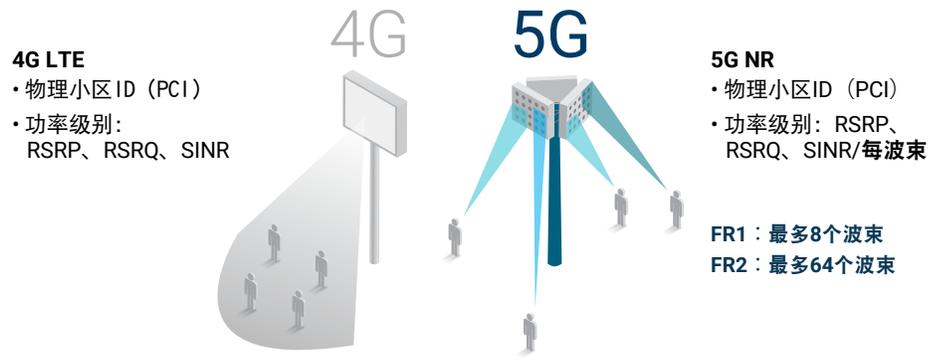


图7: 5G里的波束赋形。

解调LTE vs 5G信号

对于LTE信号，同步信号位于中心频率上。当进行配置时，设置中心频率，然后解调LTE信号，以发现PCI和所有不同的功率级别。对于5G，同步信号——称为同步信号块（SSB）——可以位于该通道中的任何位置。由于手动查找同步信号比较困难，因此需要一个自动的SSB扫描仪来帮助用户定位SSB并解调5G NR。

时分双工（TDD）

TDD被定义为一种频谱使用技术，在同一频率上为上行链路和下行链路分配不同的时隙。在中高频段，TDD用于确保上行链路和下行链路的传输条件相同。为了解更多信息，我们后进一步，看看频分双工（FDD）。



使用TDD可以灵活地配置下行链路和上行链路使用的时隙数量，并能够改变下行链路流量和上行链路流量的权重。

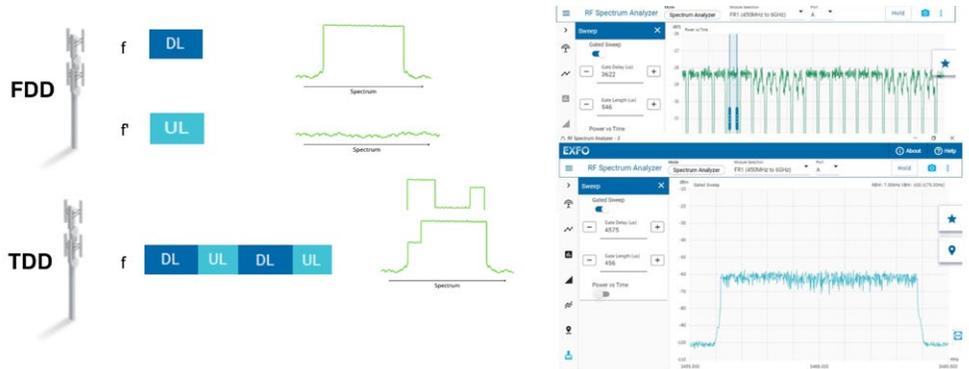


图8: FDD和TDD。

在FDD系统中（见图8上半部分），上行（UL）和下行（DL）通道连续传输，每个通道都由各自的编号定义（例如，LTE中的eARFCN），代表中心频率。因此，如果有子通道专门用于发射和接收信号，则意味着基站和用户设备在连续不断地发射信号。在两个端点处（即基站和用户设备），使用双工器将两个子通道分开或合并起来。与FDD系统相比，TDD系统（见图8的下半部分）在上行链路和下行链路上使用相同的频率通道，并且使用不同的时隙将这两个通道分开。使用TDD可以灵活地配置下行链路和上行链路使用的时隙数量，并能够改变下行链路流量和上行链路流量的权重。

但在TDD系统中，有些重要的考虑因素。在观察频谱并尝试使用传统的频谱分析仪（如扫频频谱分析仪，使用扫频本地振荡器覆盖特定的频率范围）分析TDD系统的行为并排除故障时，基站会根据时隙从发射信号变为接收信号。同时，当频谱分析仪的扫描覆盖目标频率范围时，所代表的信号将上下跳动，因为在大多数情况下，TDD格式和仪表的扫描速度不会同步。因此，下行链路或上行链路都不可能进行射频分析。

为了克服这一挑战，射频频谱分析仪使用了时间门控功能。通过时间门控，用户可以查看时域中的信号，特别是下行链路和上行链路中使用的符号/时隙，并选择其中一个时隙来使用，以分析系统的行为。例如，如果在下行链路时隙中使用门控，用户可以分析由基站发射的频谱（如功率、谱形、宽度等）。如果在上行链路时隙中使用门控，用户可以分析其它方面，如是否存在可能影响系统的外部干扰。在观察上行链路或下行链路时隙时，TDD需要一个同步时钟来限制漂移。通常，源同步时钟是GNSS。然而，最先进的射频频谱分析仪能够同步无线帧，因此不再需要GNSS。



5G基站拥有复杂的
天线系统，可以利
用波束赋形来弥补射
频信号在5G系统中
遇到的其它挑战。

C频段频谱测试要求

验证C频段的最佳做法

5G为我们带来了一个具有挑战性的新测试环境。移动网络运营商（MNO）的挑战是确保无线基站在投入使用之前能够正常工作。在部署4G LTE基站前，光纤测试、CPRI/eCPRI链路验证和同轴电缆测试对于确保基站正常工作非常关键。

但在5G NR架构中，情况会变得更加复杂起来。例如，在5G网络中，光纤要比在前几代网络中更加普遍——它直达天线，采用更高的传输速率，以提供5G所承诺的不同服务。所有这些光纤链路都需要进行测试。在安装光纤时，光纤检测和光纤鉴定非常重要，以便从一开始就确定有故障的光纤链路，并避免在后面的测试阶段出现任何故障。在检测完物理层之后，还需要对传输层进行验证。这包括测试无线单元和分步单元之间的eCPRI链路，以确保可以将基站投入使用。

5G的射频测试也相当复杂。5G基站拥有复杂的天线系统，可以利用波束赋形来弥补射频信号在5G系统中遇到的其它挑战。这些基站的辐射涵盖三个120°扇区（即Alpha扇区、Beta扇区、Gamma扇区），每个扇区都有多个波束。在RF1中，5G基站可以发射最多8个不同的波束，而在RF2中，它可以发射高达64个不同的波束，所有这些波束都需要进行测试。理想情况下，在5G基站进行的第一次射频测试将包括检查所有波束是否都在传输，然后生成情况的快照以备将来参考。

此外，有必要迅速检查每个波束内的功率水平。可以通过SSS给出的指标读数（在SSB中），包括RSRP、RSRQ和SINR，来验证功率级别和质量级别。每个波束都有自己的功率和质量指标（见图9）。

Beam ID	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)
6	-71.66	-10.21	17.40
1	-71.70	-10.25	17.53
7	-71.80	-10.26	17.38
5	-71.74	-10.27	17.26
2	-71.83	-10.32	17.62
3	-71.83	-10.36	17.88
4	-71.84	-10.39	17.35
0	-71.91	-10.41	17.40

图9：波束分析。

下一步可能是在不同的位置再次检测功率。例如，技术人员可以在天线前的一个拱形范围内行走（圆周120°），以验证功率水平变化是否符合逻辑模式。所有这些不同的射频测试都至关重要，因为如果不这样做，人们唯一能希望的就是用户设备可以接收到信号并正常运行。但如果手机无法连接，就需要从头开始，重新开始测试。

最后，需要创建基站诞生证明——从光纤检测到光纤鉴定、链路验证，然后是射频验证（即波束分析）。如果将来出现质量劣化，可以在排障期间将其作为参考基准，帮助减少解决问题所需的时间。

其它参考资料

产品

[5GPro频谱分析仪——射频频谱分析仪](#)

[FTB 5GPro——完整的多合一4G与5G测试解决方案](#)

网络研讨会

[C频段频谱：它对加快5G部署意味着什么](#)

博客

[射频和5G NR：5大常见问题
什么是C频段以及它将如何加快5G部署](#)

信息图

[当今5G世界的射频频谱](#)

部署5G固定无线接入网（FWA）

这些FWA网络包括用户驻地设备（CPE）而不是移动用户设备，其天线固定在房屋的侧面（或内部）。固定无线接入网因客户而异，所以故障排除可能会非常困难，因为WiFi问题可能由许多不同的因素导致。

客户对5G的期望很高，尤其是当承诺的服务等级在500 Mbit/s到1000 Mbit/s范围内时。在将服务部署到用户家庭时，如果出现WiFi问题，第一步是要验证到户速度是否符合承诺的要求。

可以通过快速测试做到这一点，以评估CPE是否正确安装。如果CPE存在问题，可通过解调5G信号来进行波束分析。如果从解调的角度来看一切正常，那么排障流程的下一步就是确保信号清晰且不存在干扰。

结束语

5G C频段完美地平衡了低频段和高频段。运营商目前正在竞相部署C频段，因为它提供了当前5G应用所需的合理速度和吞吐量。由于增添了波束赋形和TDD等新兴技术，因此增加了复杂程度，尤其是在分析射频频谱和干扰问题时。有一个简单易用、直观的5G测试解决方案可降低复杂程度——它是查找问题的理想工具，可以帮助一线技术人员节省高达90%的时间。由于复杂程度增加，因此实施最佳的测试实践并采用易于使用和解读的测试工具来验证5G网络会非常关键。

[了解EXFO如何通过5GPro频谱分析仪帮助运营商更可靠地部署5G C频段网络，速度是之前的3倍。](#)