

Wi-Fi 7测试攻略： 灵活频谱分配

1 技术背景

在无线通信领域，每一次技术的迭代都是对现有标准的挑战与超越。Wi-Fi 7（802.11be）作为下一代无线局域网技术，以其突破性的效率、卓越的性能、深远的历史演进以及对射频设计带来的挑战，正成为行业关注的焦点。罗德与施瓦茨，作为全球领先的测试与测量设备供应商，以其专业的信号源和信号与频谱分析仪解决方案，为Wi-Fi 7的极致EVM测试提供了强有力的支持。让我们通过这一系列文章展开一场对于Wi-Fi 7测试的专业性分析。

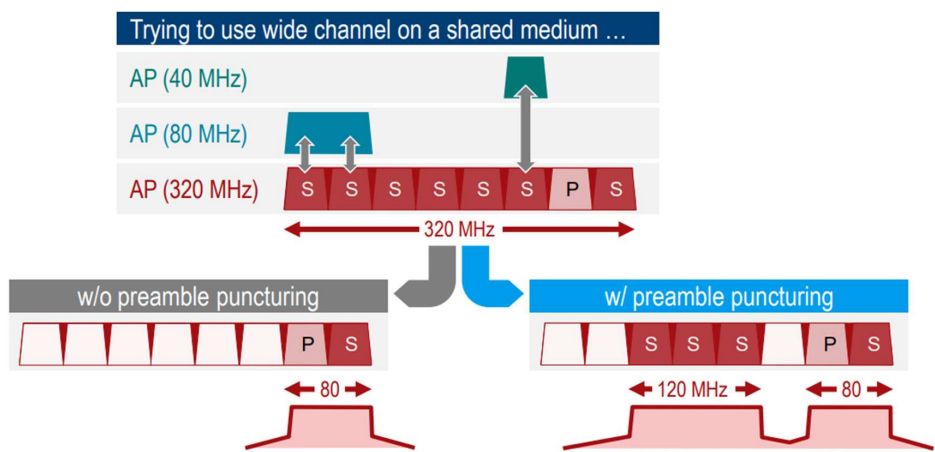
在介绍测试方案之前，我们先简单回顾一下Wi-Fi 7的两个技术背景，为我们后面的测试演示做个铺垫。

1.1 Wi-Fi 7引入的多资源单元（Multiple Resource Unit, MRU）是其独有的特性，旨在提高频谱效率和网络性能。MRU允许在相同的信道上同时传输多个数据流，每个流可以分配不同的资源单元，从而实现更精细的资源分配。这一特性使得Wi-Fi 7能够更好地支持高密度网络环境，提高多用户并发性能，减少延迟。MRU还能动态调整资源分配，以适应不同用户和应用的流量需求，提升网络的整体吞吐量。此外，MRU灵活的帧结构，有助于实现更高效的上下行传输，为未来的Wi-Fi应用提供更强有力的支持。

1.2 前导码打孔（Preamble Puncturing）技术是Wi-Fi 7为了提高频谱效率和网络容量而引入的一项新技术。在传统的Wi-Fi传输中，前导码用于同步和信道估计，但他们占用了大量的传输时间。Wi-Fi 7的前导码打孔通过在部分子载波上省略前导码，从而减少了对传输时间的占用，提高有效数据传输的比例。同时，打孔技术还可以根据不同设备的信号质量和距离，动态调整前导码的打孔模式，以优化每个设备的传输性能。

比如下面这个例子，40 MHz和80 MHz均有访问点，如果发生这种情况，在左边原先的调度方案中，因为其他客户占用了小部分带宽，我不能使用320 MHz的信道了，而且还会失去其他的自由频谱。当Wi-Fi 7引入前导码打孔后，右边现在可以使用所有可用的频谱，比如这里120 MHz组合80 MHz的信道，即使不能使用整个320 MHz信道，但对有效利用频谱达到目标吞吐量而言非常重要。

图1.1：前导码打孔提高频谱利用效率



2 解决方案

罗德与施瓦茨提供了矢量信号发生器R&S®SMW200A和信号与频谱分析仪R&S®FSW组成的Wi-Fi 7测试解决方案，提供高精度信号生成与分析，其优秀的EVM指标确保设备测试性能，多功能的分析模式为Wi-Fi 7的灵活多变提供了保障。是Wi-Fi芯片与设备研发与产线测试的理想选择。

图2.1: SMW200A与FSW



SMW200A矢量信号发生器

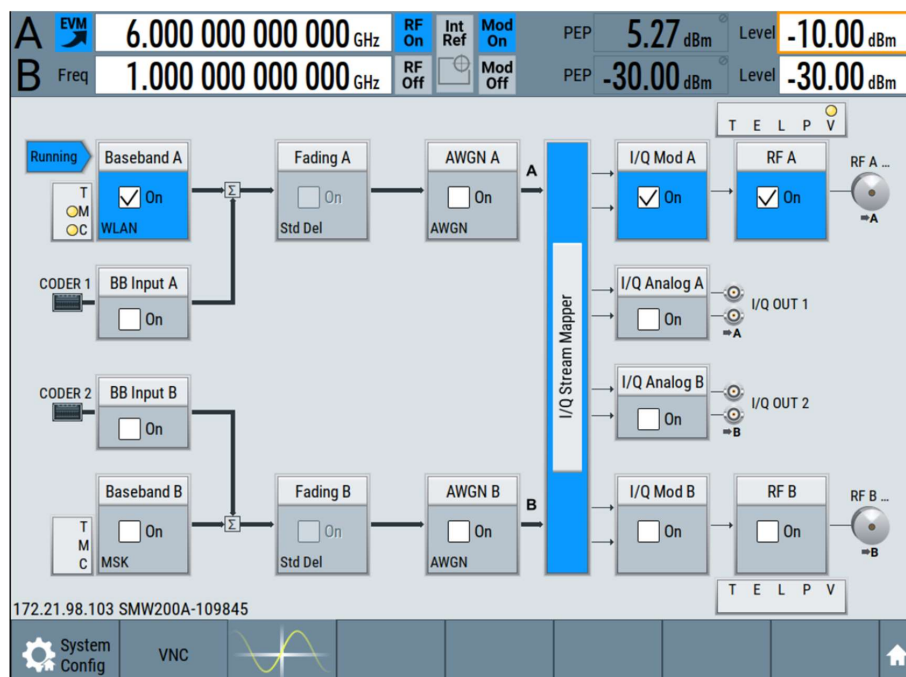
- ▶ 主机频率支持到67 GHz
- ▶ 高达2 GHz的调制带宽
- ▶ 卓越的相位噪声性能
- ▶ 集成MIMO和fading功能

FSW信号与频谱分析仪

- ▶ 主机频率支持到90 GHz
- ▶ 高达8.3 GHz的分析带宽
- ▶ 卓越的低相位噪声和灵敏度
- ▶ 高动态范围保证优秀的EVM性能

我们来看看仪器的主界面，了解一下Wi-Fi测试的Setup：
首先是SMW200A矢量信号发生器，用于产生Wi-Fi信号。

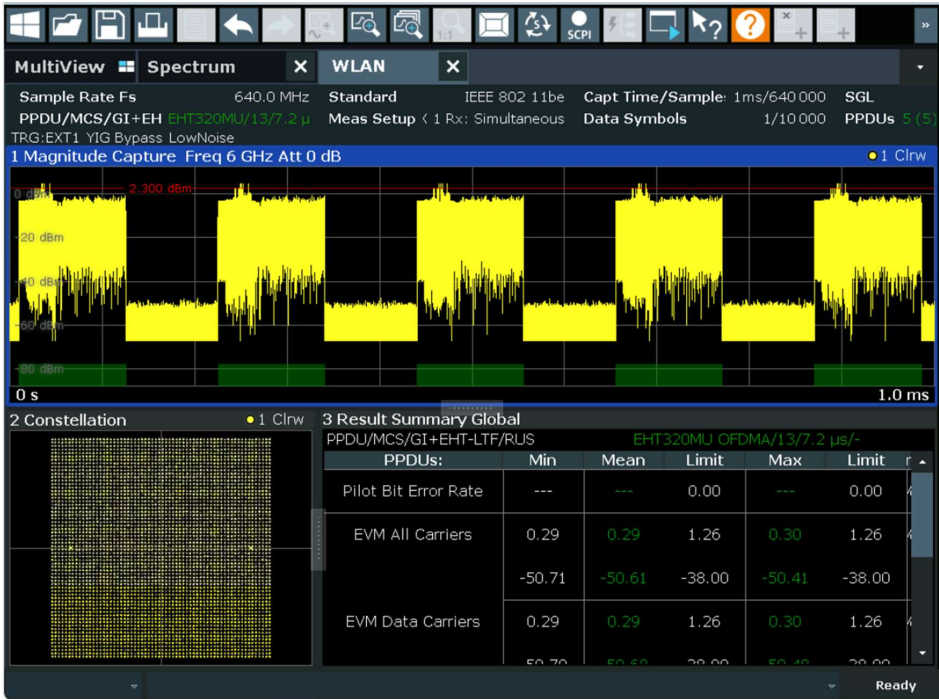
图2.2: 矢量信号发生器SMW200A测试SETUP



我们看到用户界面可以在两个信号通路（A和B）生成信号，在这里我们只激活了A通路，第三篇文章中我们在介绍关于双通道MIMO情景的测试时会用到B通路。UI中的框图展示了信号发生器的不同阶段，当然这也是Wi-Fi信号产生的具体流程，包含基带信号生成阶段、可选的衰落模型和高斯白噪声模块，右边是I/Q调制器可以支持IQ幅度相位调整和IQ信号输出，然后是RF模块做射频域参数设置。射频的频率和信号幅度可以分别通过左右上角的界面进行设置。主要是基带部分需要选择WLAN标准，发生器能够生成各式不同标准，不同信号制式可以占用同一频段，Wi-Fi 7也是如此。基带模块内部还可以对信号的细节进行进一步的剖析设置，比如带宽、数据内容调制方案、PPDU帧结构、符号时长保护间隔、信令模拟方案、多用户等等。

再来看下FSW信号与频谱分析仪，用于分析Wi-Fi信号。

图2.3：信号与频谱分析仪FSW测试SETUP



我们选择进入WLAN选项，只需要设置想要分析的中心频率和Wi-Fi信号制式，比如802.11be，剩余操作都会由自动检测功能完成分析了。该功能自动匹配抓取时间和采样率并对设定的信号参数进行处理。在这里的左下角已经生成了一个解调后得到的星座图，可以看到是4096QAM，右侧是EVM测试结果表格，而上面是信号的时域波形，描绘了信号在1 ms时间内的幅度变化、占空比信息。当然，还有更多的功能比如帧结构内部的字段、细节解调信息、解码信息等可以在Display Config功能内部调用出来分窗口进行显示。

3 测试演示

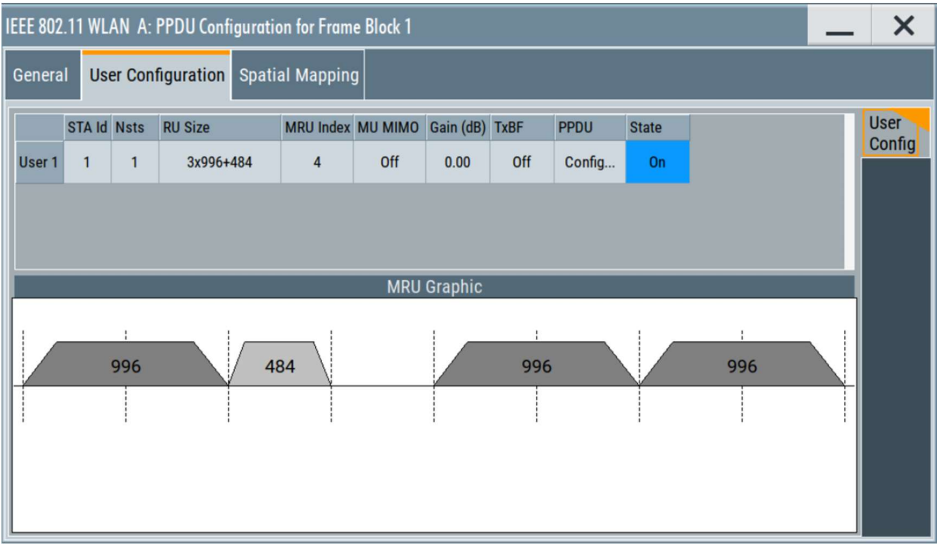
下面我们通过几个典型的例子来看看真正的Wi-Fi 7信号。把我们刚才介绍的一些知识点与实际应用串联起来，看一下如何生成与分析Wi-Fi信号，并让大家对仪器的功能有一个初步的了解。

打孔频谱发射模板（Punctured SEM）

根据以往的Wi-Fi标准，最普遍的是物理层的测量，比如下行的频谱平坦度、频谱模板、上行的灵敏度、信道抑制等。Wi-Fi 7引入了新的320 MHz频谱模板，因为原理相同这里我们不再赘述。前面我们介绍到了前导码打孔技术，那么打孔的频谱模板也应运而生，它为我们信道的配置提供了更多的可能性。

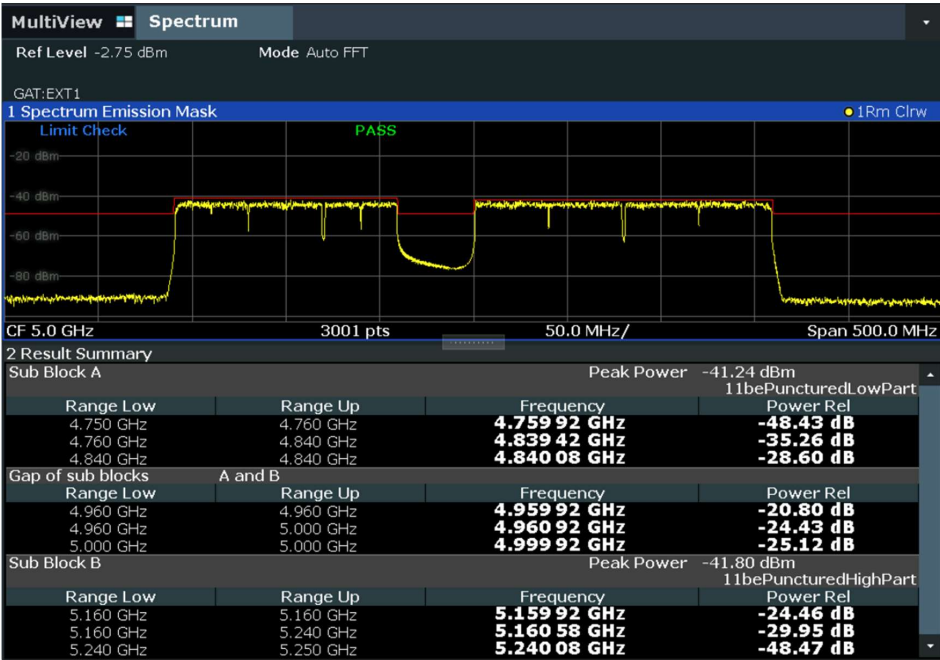
我们这里先用矢量信号发生器SMW200A发一个320 MHz带宽，MRU配置是3×996+484形式的Wi-Fi 7信号，进入信号发生器基带模块的802.11选件，在PPDU Configuration中我们可以看到，通过定义MRU Index在位置4上得到一个缺口，也就是说这40 MHz带宽可以弹性分配一个独立的数据包来允许更多的并行传输。当然这个缺口位置是可以根据需要自定义修改的，总共支持1-7不同的位置，MRU Index等于0时表示不使用任何打孔。

图3.1：Wi-Fi 7信号PPDU配置



现在来看看信号与频谱分析仪FSW，此时采用默认的频谱模式，注意频谱本身，出现了一个对应4号位置的40 MHz缺口。在这里，因为符合协议打孔频谱的条件，就可以定义一个特殊的打孔频谱发射模板来规定该信号的安全性，保证Wi-Fi信号不会相互影响。

图3.2：Wi-Fi 7信号打孔频谱模板



为了进一步观察信号中的细节与解调信息，我们可以进入WLAN模式来分析，主界面中显示了信号的时域波形、星座图、EVM及其他参数的指标，初步展示物理层的信号质量。

图3.3：Wi-Fi 7信号的解调



在这里我想很多朋友会问了，光有这些基础的物理层参数好像还不够吧？当然，WLAN选件中为了表征信号的细节信息，我们需要在Display Config里面把Signal Field拖入主界面，就能得到关于信号帧结构中各个字段的具体描述了。为了与以前的Wi-Fi信号兼容，Wi-Fi 7信号的帧结构包括了传统部分，但更多的兴趣集中在Wi-Fi 7的新部分。比如EHT通用信号部分，提供标准自身相关信息，前导码信息也与以前的Wi-Fi标准不同。U-SIG-1部分的B0-B2清楚表征了物理层版本号，后面几个比特显示带宽为320 MHz，包括上下行、BSS着色等信息，都可以和信号发生器中设置的参数一一对应。整个320 MHz带宽的信号会分为几个80 MHz不同的数据包一一展示比特位，U-SIG-2部分的B3-B7可以看到打孔信息设置为4，表示前导码的信令，和我们频谱缺口位置也对应上了，B9-B10还可以看到信令位的调制方式，可谓是信息量满满，对于Wi-Fi 7研发和算法开发的工程师来说测试变得简单了许多。

图3.4：Wi-Fi 7信号字段分析



4 订购信息

Type	Option	Designation
R&S®SMW200A	SMW-B1007	RF path A 100 kHz to 7.5 GHz
R&S®SMW200A	SMW-B9	Wideband baseband generator with ARB (256 Msample), 500 MHz RF bandwidth
R&S®SMW200A	SMW-B13XT	Wideband baseband main module, two I/Q paths to RF
R&S®SMW200A	SMW-k54	Digital Standard IEEE 802.11 (a/b/g/n)
R&S®SMW200A	SMW-k147	Digital Standard IEEE 802.11be
R&S®FSW	FSW-B512	512 MHz analysis bandwidth
R&S®FSW	FSW-k91	WLAN 802.11a/b/g measurements
R&S®FSW	FSW-k91be	WLAN 802.11be measurements