

实时分析的实现原理

技术文档

产品:

- | R&S® FSW
- | R&S® FSVR

本技术文档描述了 R&S FSW（加 K160R 选项）与 R&S FSVR 实时分析功能的实现原理。除了技术实现，本文还介绍了实时分析的几种应用场景。

技术文档

Dr. Florian Ramian
2012.6 - 1EF77_2e

目录

1 实时分析	3
1.1 R&S 实时分析仪中“实时”的含义	3
1.2 实时分析的应用	4
2 R&S 实时分析仪的实现原理	5
2.1 FFT 窗	6
2.2 FFT 长度和窗口长度	8
2.3 FFT 刷新率	8
2.4 FFT 重叠	9
2.5 FFT 结果的时间分辨率	10
2.6 截获概率 (POI)	12
2.7 区域重放 (Replay Zoom) 模式	14
3 触发实时频谱	16
3.1 频率模板触发	16
3.1.1 建立一个频率触发模板 (FMT)	16
3.1.2 技术背景	18
4 实时信号的显示模式	19
4.1 瀑布图 (Spectrogram)	19
4.1.1 参数	20
4.2 实时频谱的瀑布图	22
4.3 余辉频谱 (Persistence Spectrum)	23
4.3.1 参数	24
5 订购信息	27

1 实时分析

1.1 R&S 实时分析仪中“实时”的含义

当代频谱分析仪能够达到目前的测量速度，是经过长期发展演变而来的。传统的频谱分析仪，如 R&S FSE，是通过扫描本振，将输入信号混频到固定的中频来实现频谱测量的。信号经过了若干级混频，最后经过一个模拟分辨率滤波器，这个滤波器决定了频率分辨率。测量时间由两个因素决定，一是分辨率滤波器的设置时间，二是第一本振从终止频率回到起始频率的时间（re-trace 时间）。

随着计算能力的提升，第二代频谱分析仪（R&S FSP，R&S FSU）在窄带宽时采用了 FFT 滤波器来代替模拟滤波器。多个窄带 FFT 通过拼接来表示选定频跨内的一条迹线。因为对于窄带 RBW 滤波器（分辨率滤波器）而言，计算 FFT 的时间要小于滤波器的设置时间，所以与传统扫频方法相比，FFT 方法有着巨大的速度优势。

最新的一代频谱分析仪（R&S FSV，R&S FSW）在窄带分辨率滤波器上更加依赖于 FFT 方法。另外，它们还在扫频测量中引入了复杂的数字 RBW 滤波器。这些复杂的数字滤波器与相应的模拟滤波器相比，速度能提高 30 倍。

测量速度从 R&S FSE 的每秒钟扫描 20 次，提高到了 R&S FSV 和 R&S FSW 平台的每秒钟扫描超过 1000 次。但是所有这些频谱仪中有一点是共同的：即使是最新的 R&S FSV，对于扫频的终止点到下一次扫频起始点之间发生的信号也是无法测量得到的。这一段数据采集的间隙被称作“死区时间”。死区时间随着频谱仪的发展越来越短，但是始终是存在的。

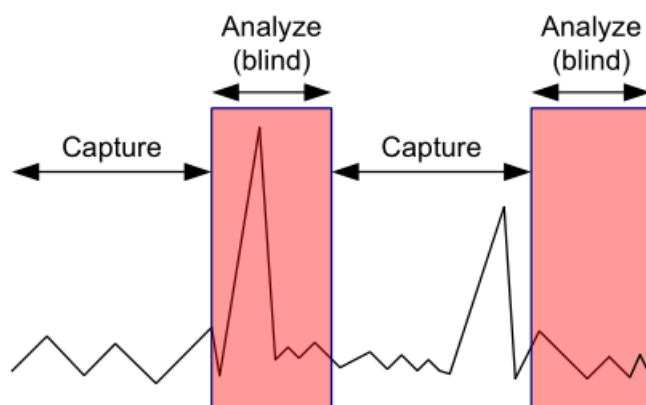


图 1-1：捕获与分析串行进行

要对信号进行实时测量就意味着不能丢失任何信号，那我们怎么才能去除死区时间呢？

答案就是使用当代的宽带高分辨率模数转换器（ADC）。使用 16 位的 ADC，可以在不扫描本振的情况下，连续采集一个带宽（可达到 160M）内的信号，并且有效动态范围也很高。设计一台实时频谱分析仪的基础，就是使用宽带 ADC，以及在专用平台（FPGA）上实现快速 FFT。

实时频谱分析仪的关键技术是：

- 并行采样和 FFT 计算：在计算 FFT 时数据采集仍然在进行。
- 快速处理 FFT 计算：计算速度必须足够快，以避免未处理的数据积累的越来越多。如果 FFT 速度不够快，那么采集缓存里的数据会溢出，从而导致数据丢失（相当于产生了新的死区时间）；
- 图 1-2 显示了并行采样和分析，从而避免死区时间。显然，实时分析仪没有丢失任何信号。

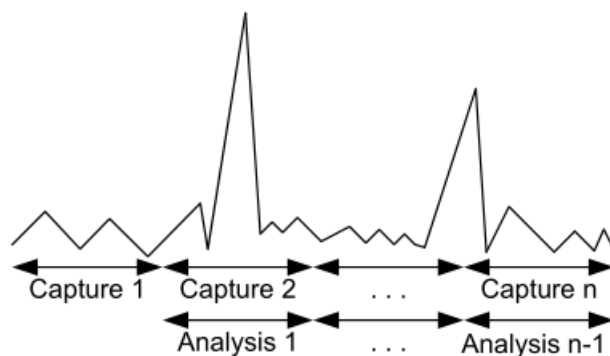


图 1-2：实时分析仪中使用的捕获与分析并行进行

1.2 实时分析的应用

实时测量有哪些典型应用呢？所有对短暂发生或极其偶发信号以及信号变化的测量，而且你不想丢失任何一个事件时，就需要用的实时分析。

一个典型的应用就是对一个给定频段进行分析。假设有一个被测件实现了一个跳频算法。要检验被测件是否按照期望的顺序进行跳频，则每一个跳频频点都不能丢失。

另一个实时分析的应用是对一个瞬态事件进行分析，比如将 VCO 调谐到目标频率。分析仪采集整个调谐过程的信号，即使是最短毛刺的频率和幅度也能无缝地记录下来。

无论你在寻找什么信号，几乎都需要使用触发来得到一段感兴趣的信号。在 R&S FSV 和 R&S FSW 中的频谱模板触发（FMT）功能，可以将频谱上的一个形状触发下来显示。一个典型的应用是分析 2.4GHz 接收机。在系统需要工作的频段上，有许多其他信号（干扰）也在这个 ISM 频段。要分析这些干扰对系统的影响，可以在需要的信号附近放置 FMT，从而控制对数据采集的开始和结束。不用深入细节，就可以在图 1-3 右边的余辉图中清楚的看出信号随时间变化的细节。而使用频谱仪中的 Trace 的 Max Hold 功能则难以看出。因为不丢失任何信息，所以 Rohde & Schwarz 的实时频谱仪能够给出时变信号精确的信息，例如信号出现概率。

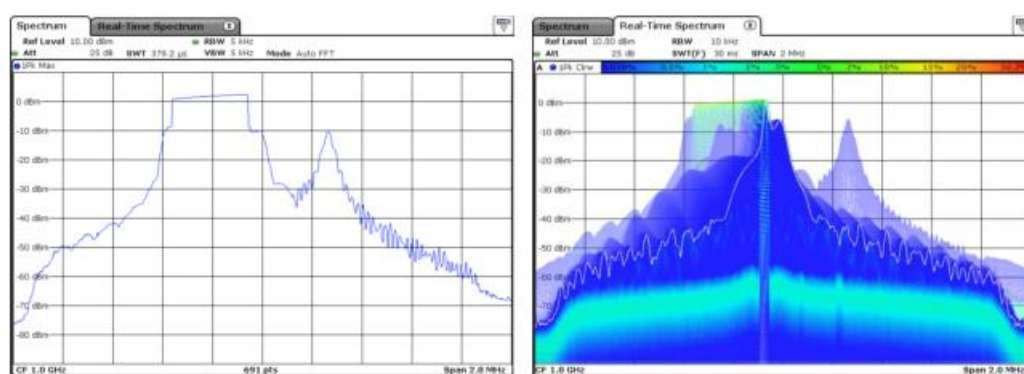


图 1-3：Max Hold 频谱迹线和余辉迹线比较

以下章节将解释无死区时间地记录信号，以及频谱模板触发的实现机制。

2 R&S 实时分析仪的实现原理

R&S 高端频谱分析仪 FSW 可以通过增加 FSW-K160R 软件选件而升级成为实时分析仪，R&S FSVR 本身就是一台实时分析仪，另外还附带普通频谱分析功能。

R&S FSW-K160R 继承了仪器基本单元所拥有的高性能。R&S FSVR 是基于 R&S FSV 平台设计的，所以其性能也由 FSV 所决定。

实时分析的核心部件是数字后端部分。如前面所述，实时分析最关键的一点是并行地进行数据分析和数据采集。为了实现这个目的，R&S FSW 和 R&S FSVR 将一系列高性能 ASIC 和 FPGA 与大容量采集内存组合起来。这种组合使得仪器可以将数据处理分成多级进行，并以流水线方式进行数据处理。流水线的最后一级是 CPU，CPU 读取了前面预处理的数据之后，对数据进行必要的比例缩放，然后将其显示在屏幕上。

所有可用的实时显示模式以及频谱触发模板都在 Rohde-Schwarz 实时分析仪上并行的运行。这就表明所有可用的实时结果可以同时显示在多个图表里，另外还可以增加频率触发模板来捕获偶发事件。这种灵活性是 R&S 实时分析仪的一个独特特性。

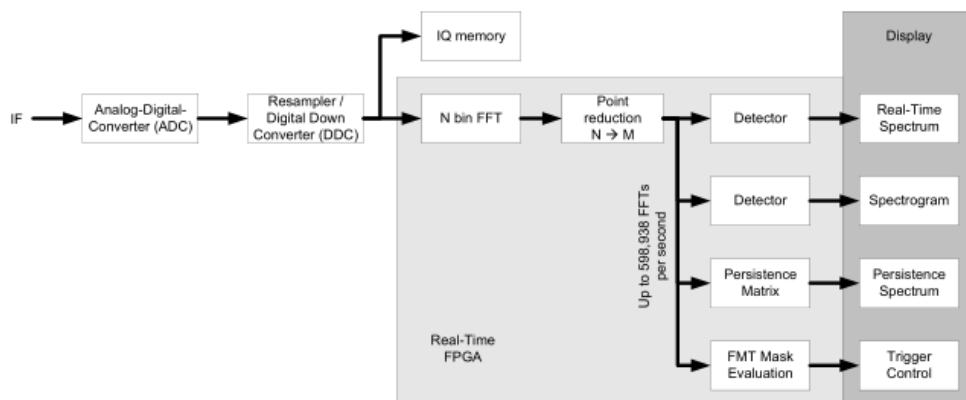


图 2-1: Rohde & Schwarz 实时分析仪数字实时部分的信号流程图

图 2-1 显示了在频域显示模式下，从 A/D 转换器（ADC）到显示单元的信号流图。ADC 工作在一个固定的采样率上（R&S FSVR 是 128MHz，R&S FSW 是 1GHz）。ADC 采样后的原始数据经过重采样器和数字下变频，将输入信号变为数字基带信号，其带宽等于选定的频率频跨，其采样率满足 Nyquist 条件。基带采样率和选定的频跨之比是 1.2，对于 40MHz 频跨，采样率是每秒 50MSamples（复采样率），对于 160MHz 频跨，采样率是 200MSamples 每秒。对于小带宽，采样率会自动降低。

采样率决定了可供分析的样点数。经过重采样后的数据流使用 FFT 变换变到频域。在 R&S FSVR 中，每个 FFT 包含 1024 个数据点，也称作 bin。FPGA 每秒钟执行 25000 次 FFT 计算。在 R&S FSW-K160R 中，FFT 长度是可变的，变化范围从 16384 个点到 1024 个点。R&S FSW 的 FFT 更新率取决于 FFT 长度和操作模式设置，最高可达到每秒 58938 次 FFT。

与 FFT 处理并行进行，重采样后的基带数据被写入分析仪的 I/Q 内存中，以供后期离线（非实时）处理，例如，缩放到一个采集区域，或者通过 LAN 或 GPIB 读取 I/Q 数据。注意 I/Q 内存是以循环缓存方式实现的，因此当内存占满后，最早的采样点会被覆盖。

所有 Rohde & Schwarz 实时分析仪都支持实时模式下的时域显示。时域显示图表是功率-时间图以及功率-时间瀑布图。

R&S FSW 实时应用有两种不同模式：High Resolution 以及 Multi Domain。在 High

Resolution 模式下，整个 FPGA 都被用于 FFT 计算。在 Multi Domain 模式下，一部分 FPGA 被用来计算时域显示图。所以 Multi Domain 模式下最大带宽限制在 100MHz，并且给定频跨下的频率分辨率与 High Resolution 模式相比也有所降低。

2.1 FFT 窗

许多工程师都记得常见时域信号所对应的频域波形。时域的正弦波对应频域的 Dirac 脉冲，时域的脉冲信号对应频域 Si 函数等等。这些对应关系对于无限长连续傅里叶变换是正确的。但是，所有的数字信号都是时间离散的，并且信号采样点数是有限的。因此要使用离散傅里叶变换（DFT）将时域变换到频域。最著名的 DFT 算法就是快速傅里叶变换（FFT）。如果有限采样的信号所包含的信息与连续无限长信号相同，则 DFT 得到的结果与连续傅里叶变换得到的也相同。以正弦波为例，以至少两倍频率，且时长是其周期的整数倍采样，经过 FFT 计算后将得到 Dirac 脉冲。对于所有其他情况，变换后的频域信号会存在一种现象叫做频率泄漏（或称扇边损耗、处理损耗）。

在 FFT 计算之前通过对时域信号应用窗函数会显著减少这些效应，因为窗函数强制把信号周期变成与窗口长度相同。一般来说，窗口长度 N_{Window} 与 FFT 长度 N_{FFT} 相同；但是在某些特殊情况下，可能使用更短的窗口长度（参见 2.2 节中的例子）。

有多种不同特性的窗函数。通常来说，选择哪个窗函数要受到频谱泄漏、幅度精度以及频率分辨率的影响。当采样得到的信号只有有限获取长度时，会自动应用矩形窗。这时窗口长度与捕获长度相同。

不同的窗函数不但影响加窗后信号的频域表示，同时也影响其时域。图 2-2 显示了 Blackman 窗与矩形窗相比产生的衰减（加权）效应。

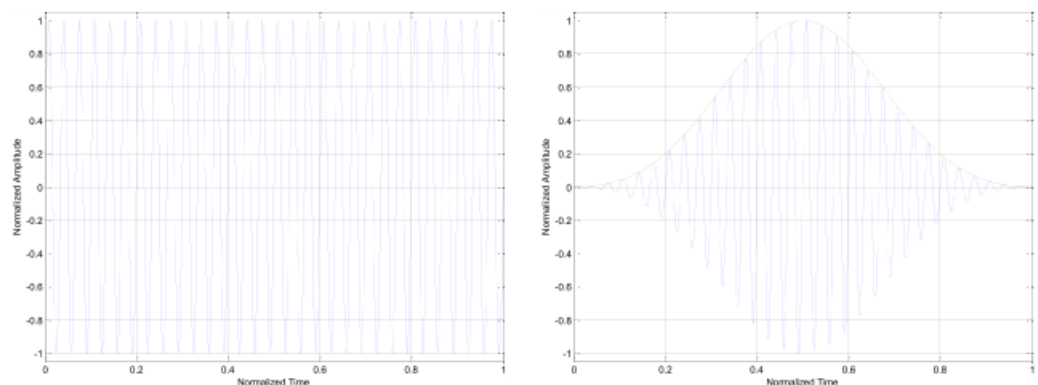


图 2-2：时域正弦波信号。对同一个信号应用了不同的窗函数：
左图——矩形窗，右图——Blackman 窗

对于偶发信号，如脉冲信号，落在窗口的不同位置会显著影响其测量精度。在窗函数中部的脉冲会得到正确的功率，在窗口边缘处的脉冲会被严重的衰减。可以在实时分析仪上可以通过重叠来减小这种差别（参见 2.4 节）。

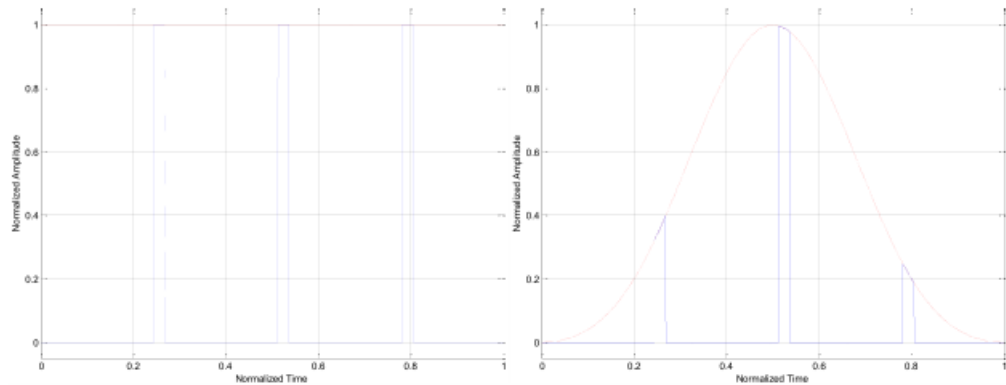


图 2-3：时域脉冲信号。对同一个信号应用了不同的窗函数：左图——矩形窗——不进行加权，右图——Blackman 窗——左侧和右侧的脉冲有明显衰减

正如开始时提到的，选择一个窗函数通常是看它的频域特征。图 2-4 显示的是图 2-2 中正弦波的频谱。图中显示了 Blackman 窗和矩形窗之间的不同。Blackman 窗明显的减小了频谱泄漏（即信号功率分布在了整个频谱范围），而矩形窗则具有最好的频率分辨率（旁瓣最窄）。如果需要寻找一个强信号旁边的弱信号，Blackman 窗是一个好的选择，因为其具有最小的频谱泄漏。而对于许多具有相似功率、间隔很小的载波，使用矩形窗可以更好地解析所有包含的载波。

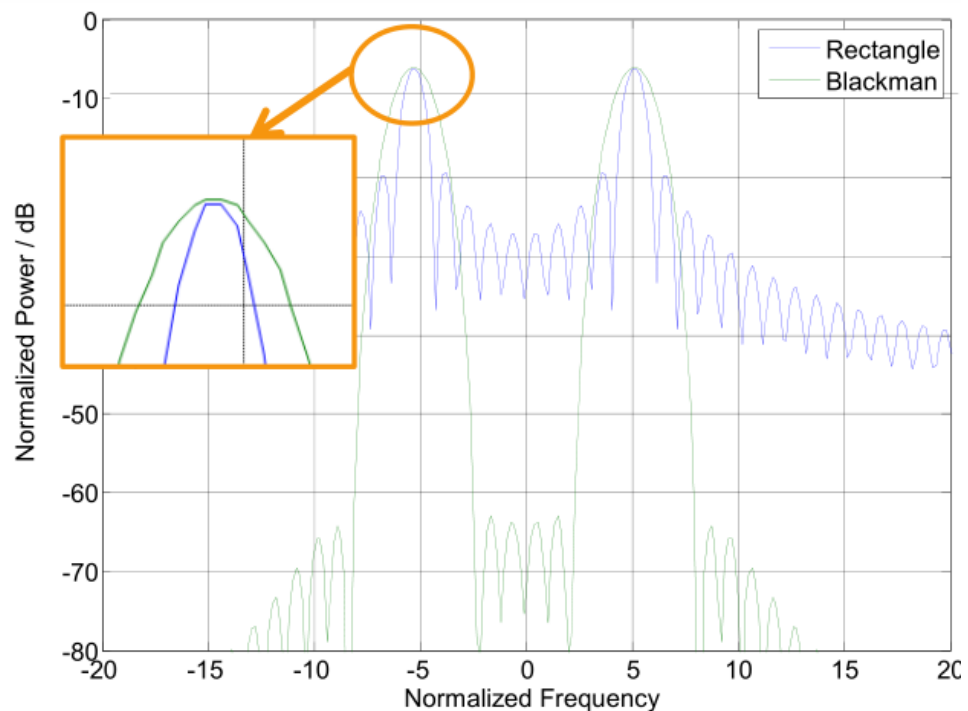


图 2-4：图 2-2 中信号的频域显示。可以看出使用 Blackman 窗与矩形窗相比频谱泄漏显著降低，但是主瓣会变宽。内嵌的小图比较了两者的功率精度

表 2-1 展示了常见窗函数的频谱泄漏和频率分辨率水平。此外表格还列出了幅度精度以及扇边损耗。如果信号的某一频率分量没有恰好落在一个 FFT 数据点之内，而是跨越了相邻两个 FFT 数据点，就会产生扇边损耗。图 2-4 中的小图显示了矩形窗和 Blackman 窗的幅度精度差异，在这个例子中这种差异可以达到 1dB。

许多 FFT 频率分析仪（包括实时分析仪）提供了不同的窗函数来增强其性能。表 2-1 可以帮助你选择对于特定应用最合适的窗函数。

Window	Spectral Leakage	Amplitude Accuracy	Frequency Resolution
Blackman	Best	Good	Fair
Flattop	Good	Best	Poor
Gaussian	Fair	Good	Fair
Rectangle (none)	Poor	Poor	Best
Hann(ing)	Good	Fair	Good
Hamming	Fair	Fair	Good
Kaiser	Good	Good	Fair

表 2-1：窗函数特性总览

2.2 FFT 长度和窗口长度

前面所说的 FFT 长度可以定义为参与一个 FFT 计算的样点数目。大多数对于 FFT 算法的实现，FFT 长度都是 2 的整数次幂。其中最常见的一个长度是 1024 个数据点。

假设已经给定了要观察的带宽（或频跨），FFT 长度将决定最小可以达到的分辨率带宽（RBW）或者说能够区分的最小频率间隔。很明显，FFT 长度越长等价于样点数越多，从而采样时间也更长（假设采样率是固定的）。观测（采样）时间更长，则频率分辨率更高，也即 RBW 越小。因此，这也就相当于获得了更低的底噪和更高的灵敏度。而较短的 FFT 长度有利于减少计算密度，从而能够得到更高的 FFT 刷新率。

窗口长度决定了在对时域信号做 FFT 之前，作用于时域信号的窗函数的长度。窗的长度可以等于也可以小于 FFT 长度。窗函数可以有效地缩短 FFT 长度，使用户可以将数据获取时间最小化。使用这种方法，即使在测量持续时间极短的脉冲时，也可以获得 100% 截获概率（POI）。第 2.6 节对这方面内容有更详细阐述。R&S FSVR 的 FFT 长度和窗长度都只使用固定的 1024 个数据点。R&S FSW 灵活性更高，它的 span 与 RBW 之比是可以选择的。如前面所述，对于一个给定的 span，FFT 的长度越长，则 RBW 就越小，也就是 span 与 RBW 之比越高。由于 span 和 RBW 是频谱测量中常见的参数，所以在 R&S FSW 实时选件中，可以通过改变这两个参数来改变 FFT 长度。当然 span 和 RBW 可以设置的范围受到 FFT 和窗长度范围的限制。R&S FSW 支持的 FFT 长度范围从 1024 个点到 16384 个点。当 span 与 RBW 之比小于 200 时（相当于 1024 个点的 Blackman 窗），窗的长度可以减小到 32 个点。因此，通过设置 span 与 RBW 之比，用户可以得到自己需要的 span 和 RBW，而不用去关心具体使用的 FFT 或窗长度。

2.3 FFT 刷新率

用来进行频谱显示的原始频谱数据是一连串的 FFT。要进行精确地频率模板触发，非常重要的一点是能够尽量快地计算每一个 FFT。在 3.1 节里将会说到，每一个 FFT 都参与判断是否超出模板。每秒钟计算的 FFT 越多，则 FMT 精度和可重复性就越高。

此外，100% POI 下的信号最短持续时间也受到 FFT 刷新率的直接影响（参见 2.6 节）。简单地说，100% POI 下的事件最短持续时间类似于最小脉冲宽度，可以显示为与对应 CW 信号相同的频谱功率。这也常称作 100% 准确的读取功率。100% 准确的读取功率下的脉冲最小持续时间与 FFT 相对应，当某个脉冲持续时间大于或等于 FFT 长度时，对此 FFT 来说，这个脉冲就等价于一个连续波（CW）信号。

在实时瀑布图中，可以达到的最高时间分辨率也取决于能够达到的最大 FFT 刷新率。除了 FFT 刷新率，时间分辨率还受到其他一些参数的影响（参见 2.5 节）。

R&S FSVR 的刷新率可达 25000 次每秒，R&S FSW 能达到最高 58938 次 FFT 每秒。FFT 刷新率主要受到 FPGA 计算能力的限制。

最后，大多数参数，如时间分辨率、重叠率、100% POI 下的信号最短持续时间等取决于 FFT 速率。因此可以说，一台实时分析仪的能力和灵活性非常依赖于它的 FFT 刷新率。

2.4 FFT 重叠

要处理一个短暂事件（与 FFT 获取时间相比更短）的 FFT 是一个挑战，要想使电平误差最小化，必须使用实时分析仪正确地进行测量。

为了展示重叠的重要性，让我们假设两个连续的 FFT 的获取时间片不互相重叠，

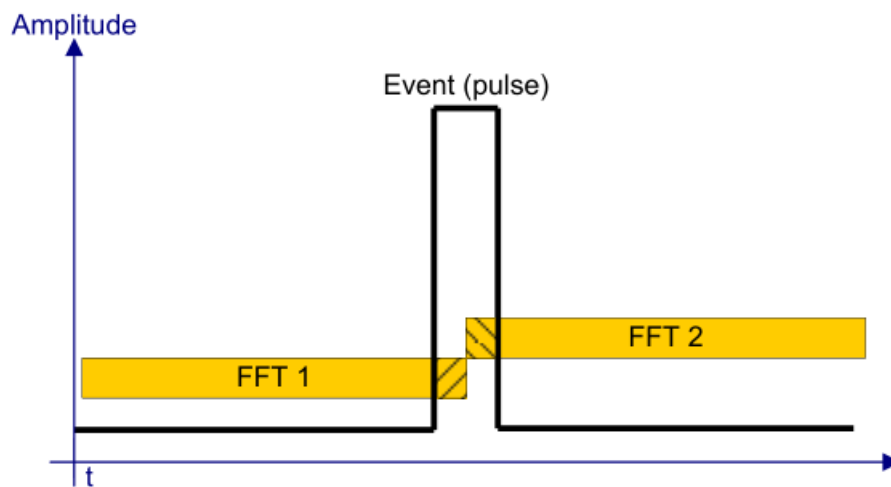


图 2-5：脉冲被不重叠的两个相邻 FFT 时间帧所获取

如果一个短脉冲的能量跨越了两个获取时间帧，如图 2-5 所示，那么它将会分布在两个相邻 FFT 的计算结果里。结果就是每一个 FFT 结果只包含了时域脉冲的部分功率。

Rohde & Schwarz 的实时分析仪使用了一种叫做 FFT 重叠的技术来避免这种情况。使用重叠会对之前参与过 FFT 计算的样点进行复用。图 2-6 显示了一个脉冲信号被若干个重叠的 FFT 时间帧所获取。

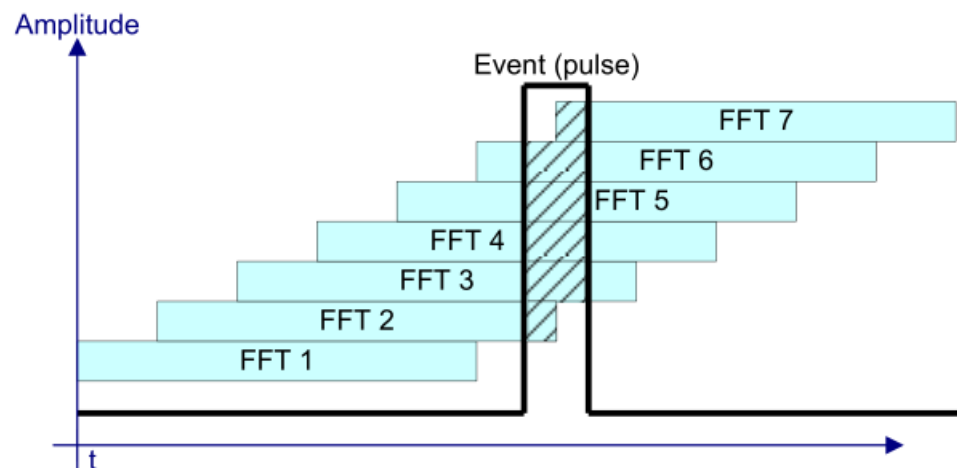


图 2-6：脉冲被若干个重叠的 FFT 时间帧所获取

在这个例子中，有若干个 FFT 获取了整个脉冲而非部分脉冲。重叠率描述了被复用

的样点与全部样点数之比。在 R&S FSVR 中，重叠率高于 80%。在 R&S FSW-K160R 中，重叠率受许多因素，特别是 FFT 长度和操作模式（High Resolution 还是 Multi Domain）的影响，但是除非窗长度小于 1024 个点，否则重叠率最小是 50%。假设 FFT 长度是 1024 个点，带宽 160MHz，FSW 使用了 2/3 的重叠率，即 684 个采样点被复用。在特定的带宽下（对应于当前采样率），重叠率可以到达 $(N_{\text{window}}-1)/N_{\text{window}}$ ，其中 N_{window} 是窗口长度。

最后，对 FFT 进行更深入的研究会发现另外一个需要恰当设置重叠率的问题。FFT 分析仪在做 FFT 之前，通常对采集到的 I/Q 数据应用非矩形的窗函数（参见 2.1 节）。从图 2-7 中可以明显看出如果一个脉冲比窗口长度短，那么脉冲落到窗的边缘时，将被严重地衰减。使用有效的重叠可以确保即使一个脉冲落到了窗口边缘（将会被衰减），那么在后续的 FFT 中它也有机会落到窗的中间部分，从而得到正确的测量结果。

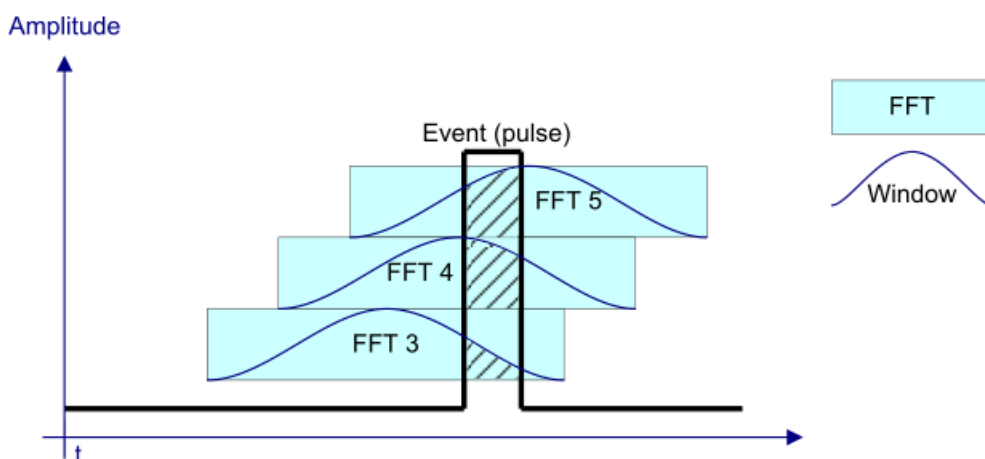


图 2-7：重叠补偿了由窗函数所引起的效应

当重叠率大于等于 50% 时，由窗函数引起的电平误差就可以忽略不计。

重叠率可以由最大实时带宽和分析仪每秒最大 FFT 计算次数得出。要比较不同实时频谱分析仪的性能，请注意他们的最大 FFT 刷新率，即每秒钟计算 FFT 的次数。

2.5 FFT 结果的时间分辨率

有一点需要特别注意，FFT 的计算结果并不是某一个时刻的频域表示，而是一段时

间帧的频谱表示。这是 FFT 技术的另一个基本特性。

这个特性会导致两个连续的事件可能会出现在同一个 FFT 里（边缘效应）。这有点类似于照相，照片描绘了在曝光时间内所有发生的事件。将选定的带宽（采样率）影响计入，则有效曝光时间按下式计算：

$$t_{\text{exposure}} = N_{\text{FFT}} \cdot \frac{1}{f_s}$$

其中 N_{FFT} 是 FFT 长度， f_s 是采样率。

曝光时间并不一定等于时间分辨率，因为大多数实时分析仪都采用了重叠（2.4 节）。

由于两个连续的 FFT 至少需要有一个采样点的差别，所以理论上时间分辨率最高是一个采样点时间。在实时显示模式，如瀑布图显示下，时间分辨率是瀑布图上两个相邻帧（直线）的步进宽度。如 4.1.1 节中描述的，扫描时间参数决定了时间分辨率。在 R&S FSW 的区域重放（replay zoom）模式下可以设置的最短扫描时间是

30ns。

下面的例子展示了时间分辨率和曝光时间的区别。一个 CW 信号不断改变其频率。在从频率 1 (f_1) 切换到频率 2 (f_2) 的过程中，有 $2\mu\text{s}$ 时间不存在 RF 信号（见图 2-8 的时序图）。

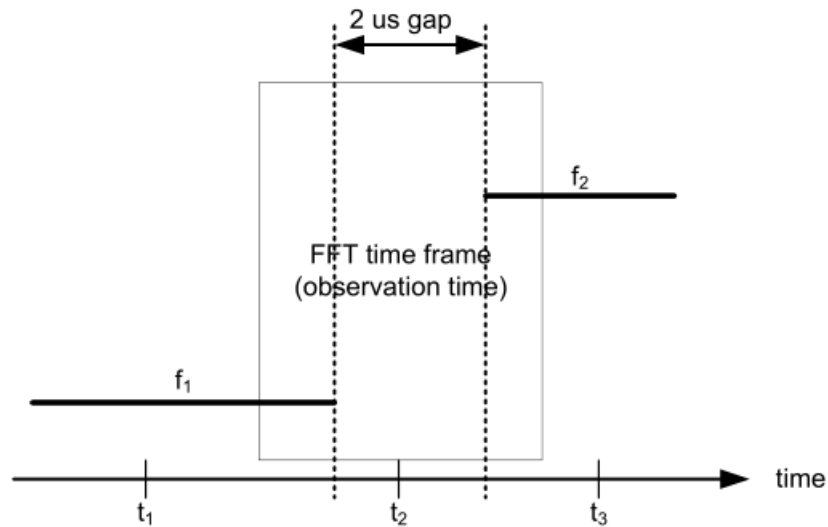


图 2-8：FFT 观测时间例子中的时序图

如果没有考虑到前面所讲的原则，用户可能会认为在这 $2\mu\text{s}$ 的间隔内 FFT 结果除了噪声分量其他什么也没有。但是了解 FFT 处理过程的用户会知道实际的结果：连续的 FFT 结果首先显示 f_1 的分量。在这 $2\mu\text{s}$ 没有信号的间隔时间里，FFT 结果可能会显示 f_1 频谱分量的部分电平，以及 f_2 频谱分量的部分电平。如果没有信号的时间间隔小于 $5.12\mu\text{s}$ ($N_{\text{FFT}}=1024\text{bin}$, $f_s=200\text{MHz}$)，将不会有只显示噪声分量的 FFT 结果。图 2-9 中的瀑布图显示了信号随时间的变化。图 2-9 下方第二个频谱曲线明显的显示了 FFT 时间帧的效应，所有在 FFT 长度内发生的事件都出现在同一个 FFT 结果中，两个频率同时有效，但是功率相对降低。

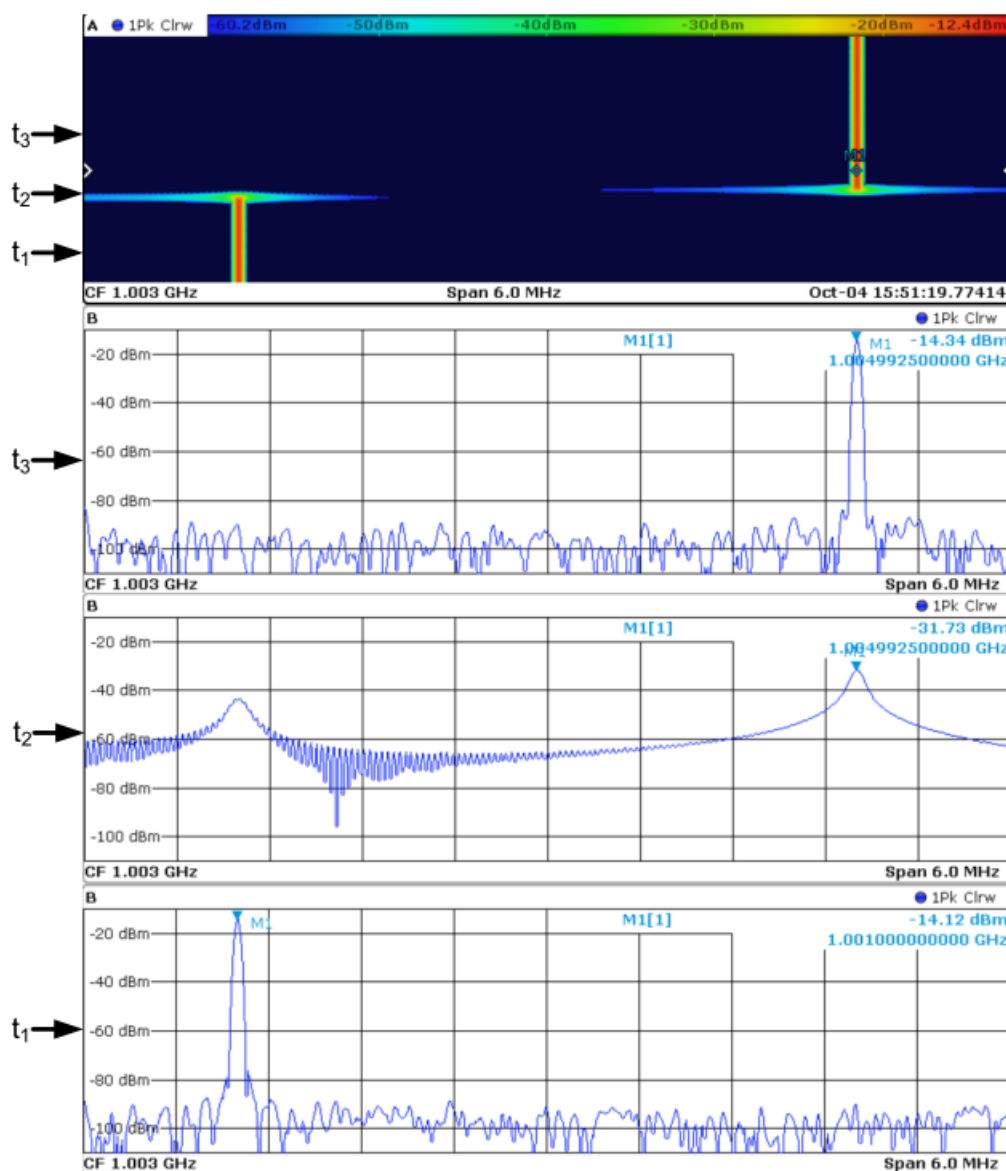


图 2-9：一个跳频的瀑布图。从上到下，频谱迹线分别显示了频率 f_2 、两个频率、频率 f_1 。由 FFT 时间帧得到的两个频率的迹线显示时间要长于两个频率的间隔时间。

2.6 截获概率（POI）

大多数实时分析仪都给出了“100%截获概率下的信号最短持续时间（POI）”这个指标。根据定义，一个信号或者事件需要最少持续一个 FFT 的时间才能达到 100%POI。在实时分析仪的标准操作模式下（窗口长度等于 FFT 长度），100%POI 下的最短时间按照下式计算：

$$t_{100\% POI} = (2 - P_{overlap}) \cdot \frac{N_{FFT}}{f_s}$$

式中 $P_{overlap}$ 是重叠率。

很明显，如果持续时间是 FFT 持续时间的两倍（减去重叠），则不论信号是否和 FFT 对齐，总是至少有一个 FFT 被信号全部覆盖。在图 2-10 中显示了一个持续时间恰好是 100%POI 下最小持续时间的信号。这个信号在频域总是会显示 100%准确的功率。

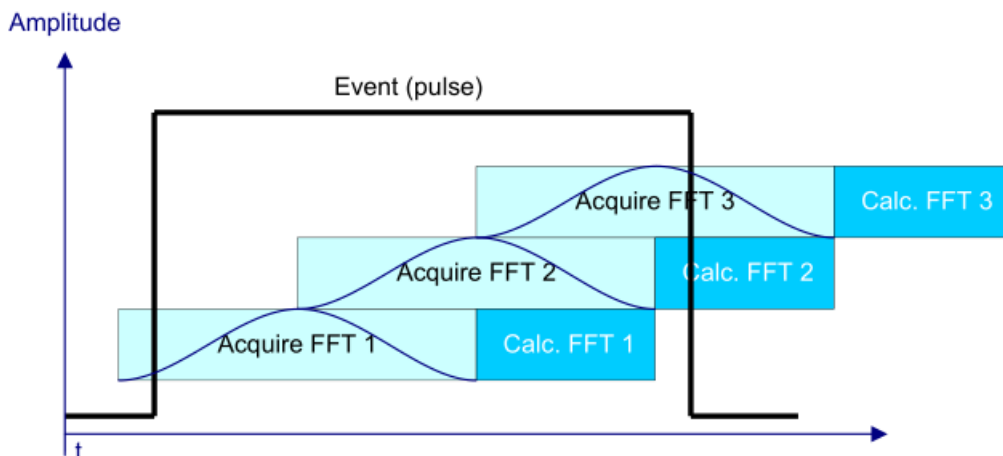


图 2-10：采用了重叠的实时设置；测量的事件要长于 POI 时间，所以得到的是 100%准确的功率。

在图 2-10 给出的场景下，即使最短的脉冲也会在频域显示出来。因为使用了重叠，所以不会丢失任何事件。但是对于比 100%POI 下最小持续时间短的脉冲，其显示的频域功率将会比实际功率有所降低。

为了缩短前面所定义的 100%POI 下信号最短持续时间，许多实时分析仪会使用比 FFT 长度短的窗函数。图 2-11 给出了这种情况的示意图。这样做的好处是 FFT 可以更早的开始计算，因为对于 1024 个点的 FFT 和 32 个点的窗函数，只需要对 32 个点进行采样，剩下的 992 个值被设置为 0。所以在采样了 32 个点之后，FFT 计算和对下一个 FFT 的样点采集可能已经开始。进行 FFT 计算的时间要长于全速采样下对 32 个样点进行采集的时间。因此在计算时间内获得的部分值会被丢弃，结果就会导致死区时间。所以为了能够全面地描述实时分析仪的性能，100%POI 下的信号最短持续时间是一个极其重要的指标。在大多数情况下，不丢失任何信息非常重要。另外，可能完全丢失的信号的最大持续时间也是一个需要注意的指标。

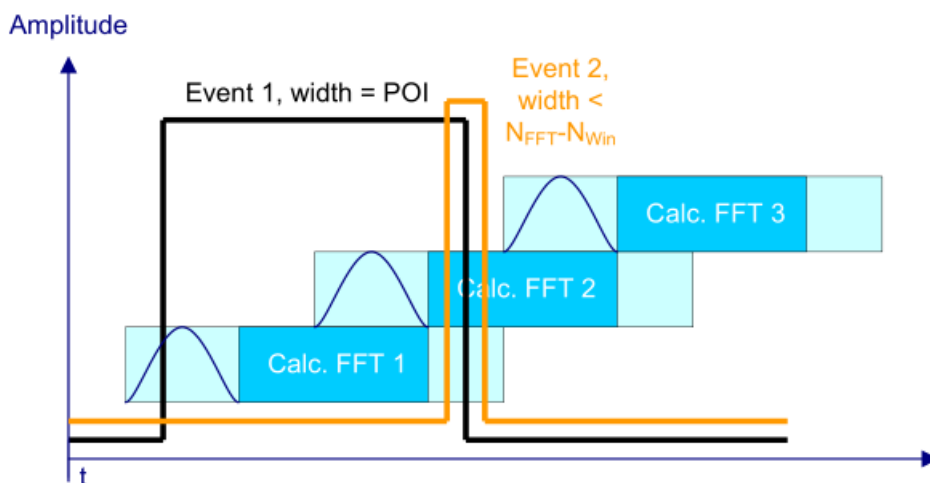


图 2-11：不采用重叠的实时设置；事件非常短暂以至于可能在两个连续窗函数之间完全消失

在默认操作模式下，两种 Rohde & Schwarz 实时分析仪的重叠率都大于 50%，即不存在盲区时间。另外，R&S FSW 支持重叠率设置，窗口长度可以设置为比 FFT 长度小，从而可以获得很小的 100%POI 下信号最小持续时间。R&S FSW 不仅提供了可变的 FFT 长度（1k 个点到 16k 个点），而且提供了小于 1024 个点的窗函数（最少到 32 个点）。表 2-2 列出了默认窗函数（Blackman）下的实时参数。注意 FFT 刷新率与操作模式（High Resolution 还是 Multi Domain）相关。100%POI 下信号最小持续时间与 FFT 刷新率和选择的 span 有关。

Blackman Window Function						
Span/RBW	FFT Length (N_{FFT} in bins)	Window Length (N_{Window} in bins)	FFT Update Rate f_{FFT} (FFTs/s)	Overlap in % of window	Min. signal duration for 100% POI (μs)	Longest Event that can be 100% missed (μs)
3200	16384	16384	36,621	66.7	109.22	0
1600	8192	8192	73,242	66.7	54.61	0
800	4096	4096	146,484	66.7	27.30	0
400	2048	2048	292,969	66.7	13.65	0
200	1024	1024	585,938	66.7	6.82	0
100	1024	512	585,938	33.4	4.26	0
50	1024	256	585,938	0	2.99	0.43
25	1024	128	585,938	0	2.35	1.07
12	1024	64	585,938	0	2.03	1.39
6	1024	32	585,938	0	1.87	1.55

表 2-2: 默认的 Blackman 窗函数的实时参数总览, 使用高精度操作模式, span 160MHz

不使用重叠时, 最短信号持续时间可以按下式计算:

$$POI = \frac{1}{f_{FFT}} + \frac{N_{Window}}{f_S}$$

由于窗函数比 FFT 短导致的可能全部丢失的事件最长时间可以写成:

$$T_{MaxMiss100} = \frac{1}{f_{FFT}} - \frac{N_{Window}}{f_S}$$

对于需要读取 100%准确功率的应用, 例如对于已知信号电平进行频率模板触发, 建议使用较短的窗口长度。大多数实时应用需要的是“不丢失任何信号”, 所以在多数情况下, 窗口长度需要和 FFT 长度相等, 实时分析仪需要具有显著的重叠率。

2.7 区域重放 (Replay Zoom) 模式

Rohde & Schwarz 实时分析仪提供了一种叫做 replay zoom 的模式。它允许用户对仍然存在于内存中的 I/Q 数据进行后处理。在多数情况下, 实时分析仪会工作在全带宽下。在需要进行调试的情况下, 我们可以假设频谱触发模板设置为触发一个特定的边带电平。在捕获的一个触发信号后, 会出现选定的分辨率带宽无法清晰地分析干扰信号的情况。

R&S FSVR 和 R&S FSW 都支持应用不同的 FFT 参数, 如中心频率、RBW、span 等, 对捕获的 I/Q 信号进行再次后处理。这样就不需要用户再次等待下次干扰信号出现。

很明显, FFT 参数只能在原始 I/Q 信号限制的范围内改变。为了方便使用, 在瀑布图显示时, 如果使用了放大图表, 则会自动打开 replay zoom 模式。另外, 瀑布图明亮区域表示可以被缩放, 暗的区域表示不能被缩放。通过将缩放矩形放置在瀑布图中, 中心频率、span 等 replay zoom 参数可以自动设定。



图 2-12: 在瀑布图中选择了放大工具。浅色区域代表可以进行缩放的区域，深色代表不能缩放的区域

3 触发实时频谱

本章内容集中在实时频谱分析仪所特有的触发方式：频率模板触发（FMT）。频率触发模板是一种可靠的、功能强大的工具，它可以用来捕获用户需要快速分析的特定的数据。所有实时显示模式下都可以使用 FMT，因为它是在余辉图和瀑布图计算的同时进行触发判断的。

3.1 频率模板触发

要分析给定频率范围内的低概率偶发事件，一种方法就是对数据实时进行长时间的捕获。这种方法需要用到大量容量的快速内存。此外，对存储的大量数据进行后处理，以找到这些偶发事件，也是一件及其耗时的工作。

另外一种方法是在频谱中触发这个偶发事件，只捕获与此事件相关的数据。这种方式大大降低了需要的存储容量，而且保证了能够在较短时间从获取的数据中定位事件。因此需要会问：分析仪是怎么触发到仅仅在特定频带内偶然发生的事件的？

答案是使用频率模板触发（FMT）。形象地说，FMT 是一个频域中的模板，在每一次计算 FFT 时都会检查这个模板。也就意味着每秒钟会进行 585938 次限值检查（对于 R&S FSW）。相对应的时间分辨率是 $1.71\mu\text{s}$ 。

频率模板最多可以包含 1001 个点（R&S FSWR 是 801 个），可以具有任意形状。Rohde & Schwarz 实时分析仪提供两种触发捕获数据的方式。可以在下面条件满足时开始或终止数据捕获：

- 信号进入模板区域时（进入）
- 信号离开模板区域时（离开）

这两种条件都可以应用在下限值线或上限值线，或者同时应用上限值和下限值线。

所有实时显示模式都可以使用 FMT 作为触发源。由于 FMT 是与选定显示模式计算并行进行评估的，所以对实时分析仪的性能没有影响。

在普通频谱仪模式下，一个触发事件会引起数据捕获开始。频率触发模板可以做完全一样的事。此外，许多实时应用需要在某个事件发生时，引起触发并停止数据捕获。这种触发模式叫做“Stop on Trigger”，而默认的操作模式是“Auto Rearm”。

标准频谱分析仪没有 FMT 触发源，因此为了使测试系统内的其他仪器也能够使用 FMT 触发，所有 Rohde & Schwarz 实时分析仪都提供了一个特殊的触发输出。每当有一个 FMT 触发时，触发输出接口会提供一个 5V 的触发脉冲。可以把其他仪器设置为外部触发来使用这个触发脉冲。

3.1.1 建立一个频率触发模板（FMT）

2.4GHz ISM 频段是一个充满干扰信号的典型 RF 频段。除了 Bluetooth 和 WLAN，还有许多其他服务使用这个频段。在这个例子中假设使用了一个 Bluetooth 接收机。在实验环境下，本例子的 Bluetooth 连接只使用了单一信道，接收机丢失了与配对发射机之间的链路。为了分析导致 Bluetooth 链路丢失的干扰信号，在已知的 Bluetooth 信号周围建立一个 FMT。在这个例子中设置的触发条件是：

- 如果在 Bluetooth 信道附近测量到有显著的功率，就停止数据捕获。

使用这个条件，如果有任何一个可能引起连接失锁的跳频信号穿过当前信道，就会引起触发。

使用 FMT 模板编辑器，可以很容易地建立一个满足这个条件的触发模板（图 3-1）。信号和模板都会动态地进行刷新，所以可以简单直观地建立需要的模板。

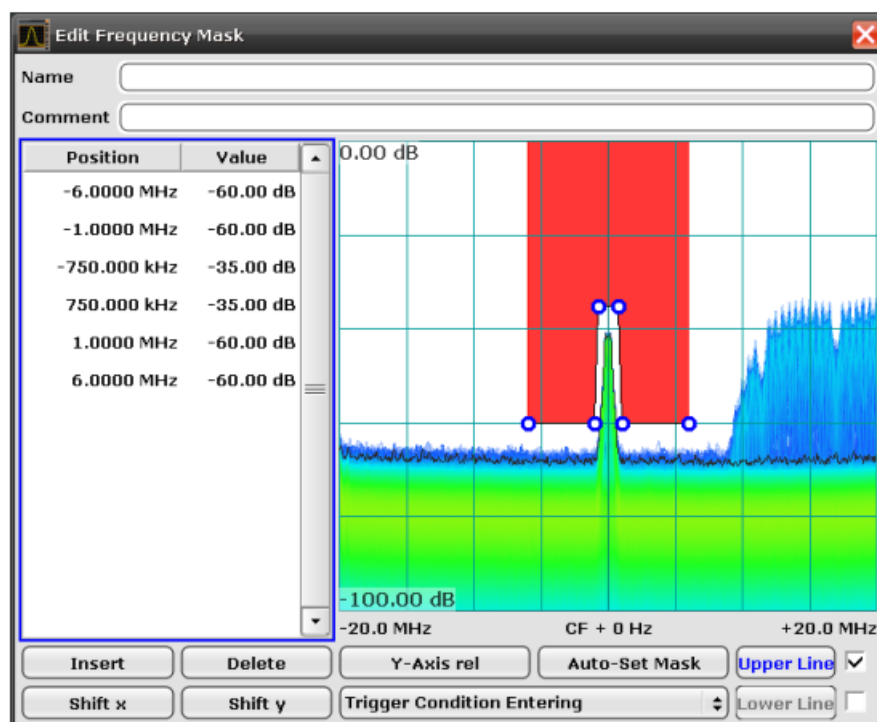


图 3-1：FMT 对话框

触发模板在当前余辉图或实时频谱显示中显示为红色背景（见图 3-2）。在使用“Stop on Tigger”模式下，请确保分析仪处于连续运行（Run Continuous）模式。为了保证显示的数据包含分析所需的所有数据，可以调整预触发和后触发时间（pre-trigger 和 post-trigger）。

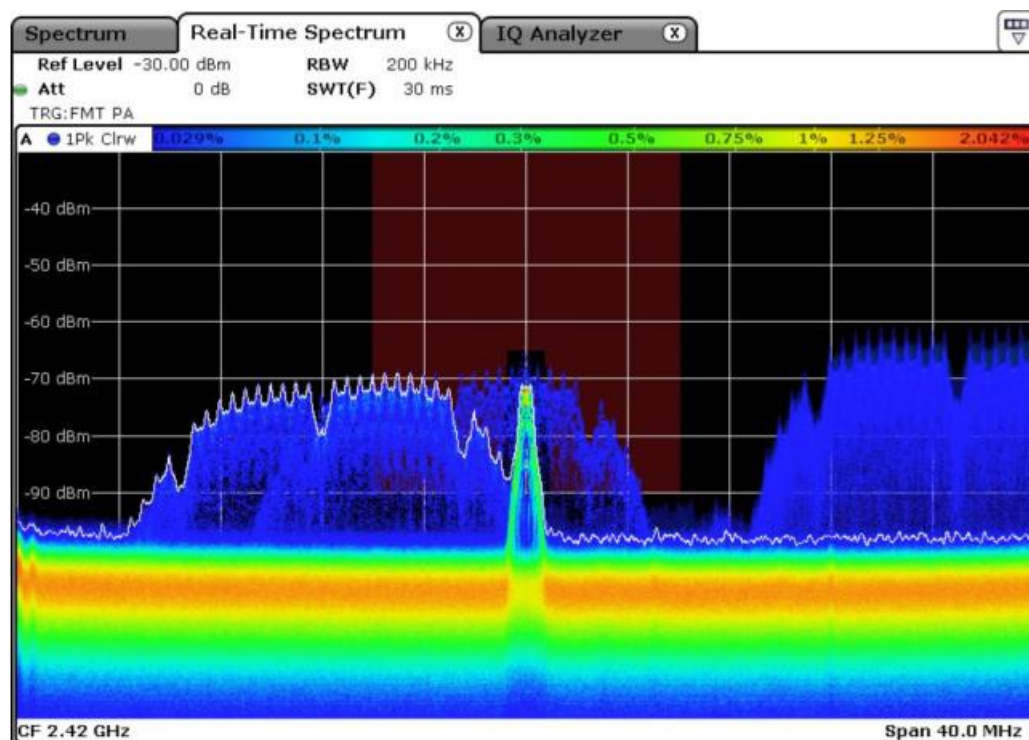


图 3-2：FMT 被 WLAN 信号的频率变化所触发

当触发条件来临时，分析仪会在触发事件时刻加上后触发（post-trigger）时间后停止数据捕获。请注意：在触发事件之前记录的时间可能比设置的预触发（pre-trigger）时间要短。因为 FMT 是实时触发，它会将识别到的第一个触发事件定义为 post-trigger 时间的开始——无论是否已经经过了 pre-trigger 的时间。对于实时分析

仪，重要的是不丢失任何一个事件。

FMT 支持

所有实时显示模式都支持 FMT；除此之外，一些非实时选项，如矢量信号分析选项也支持 FMT。

Stop on Trigger 与 Auto Rearm 对比

如前面提到的，分析仪同时支持这两种模式。Stop on Trigger 适合大多数需要寻找偶发事件的应用，如查找干扰。而 Auto Rearm 触发非常适合查找周期性重复的信号。基于这种概念，Stop on Trigger 模式在连续扫描模式下提供最好的结果。Auto Rearm 模式类似于外部触发，支持许多单步扫描和连续扫描模式下的应用。

3.1.2 技术背景

频率模板触发（FMT）的最基本功能就是作为一种“扩展的”限值线检查：实时硬件计算得到的每一个 FFT 频谱都会与 FMT 进行比较。

R&S FSW 每秒钟进行 585938 次模板检查，与 FFT 刷新率相等。为了保证实时触发（小于一定的反应时间），FMT 是用实时硬件来实现的。

图 3-3 显示了实时 FFT 与 FMT 模板每个元素都进行比较。FMT 模板与 FFT 值相减，只要有一个结果是负的，分析仪就会被触发。

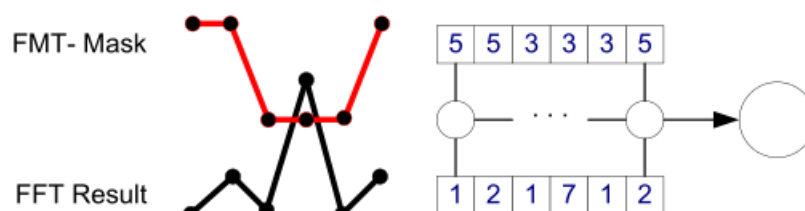


图 3-3：FFT 模板与当前 FFT 结果按元素进行比较

“扩展的”限值检查的意思是 FMT 可以对复杂的限值条件进行检查，如“进入”模板和“离开”模板。

正如之前提到过的，FMT 模板最多可以包含 1001 个点（R&S FSWR 是 801 个），但有时用 2 个点就足够了。少于 1001 个点的 FMT 定义会通过插值方法自动扩展到 1001 个点。因此在 FMT 触发中，总是对 1001 个 FFT 点和 1001 个 FMT 模板定义点进行比较。如果有任何一个点超出了模板，FMT 就会产生触发。

对 FMT 进行评估等同于对功率值进行比较。正如在 2.6 节提到的，只有当信号（如脉冲）填满一个 FFT 时，FFT 显示的功率与时域功率才具有可比性。对于一个脉冲信号，假设每个脉冲电平都是 0dBm，要使测得功率频谱分量也达到 0dBm，最小的脉冲持续时间是 $1.87\mu\text{s}$ （R&S FSW 在 High Resolution 模式下使用 32 个点窗口）。这个值是根据 2.6 节中所说的算出来的。在这个 FFT 的观测时间内，由于脉冲的边缘没有落在这个 FFT 时间帧中，所以脉冲（未经调制的）等价于一个连续波信号。计算结果是一个与脉冲时域功率相等的频域分量。对于更短的脉冲，可以用 pulse desensitization 来描述时域功率和频域主功率之间的关系。要了解更多脉冲测量的细节，请参考应用文档 1EF48。

为了在非常短的脉冲下也得到可靠的 FMT 触发，最好将模板限值设置的比期望的频谱功率稍低一些。

4 实时信号的显示模式

现代普通频谱分析仪一般会提供捕获 I/Q 数据的能力。I/Q 数据捕获本身是实时的，即不会丢失任何信息。这个描述只有当分析仪的 I/Q 内存足够大，大到可以覆盖整个观测时间时是有效的。存储下来的 I/Q 数据会进行后处理。在后处理过程中，不会有新的信息被捕获。即使是提供了数字 I/Q 输出接口的分析仪（例如 R&S FSV 和 R&S FSW）也要进行后处理，因为普通频谱分析仪不能实时地处理数据。

Rohde & Schwarz 实时分析仪不但对数据进行实时处理，而且提供了多种显示模式来帮助用户对数据进行分析。人眼对于快速变化的事件识别能力有限，而实时显示则把时间轴上的变化变得可视化。使用支持过去和当前频谱信息同时显示的模式，可以支持肉眼对变化信号进行快速分析。

R&S FSW-K160R 具有两种不同的操作模式：High Resolution 模式和 Multi Domain 模式。Multi Domain 模式提供了功率对时间显示，但是带宽最宽 100MHz，span/RBW 最高 800（使用 Blackman 窗口）。

4.1 瀑布图（Spectrogram）

瀑布图可以用来显示频谱随时间的变化。一般频谱仪会将功率与频率关系显示出来，而瀑布图可以将功率随频率和时间的关系都表示出来。从图形上来说，坐标轴的纵轴和横轴分别表示时间和频率。平面上每一个维度（频率 f ，时间 t ）都用不同颜色填充，颜色代表相应频率和时间的幅度。

在刚开始测量时，平面图是空的。随着测量的进行，图表从上到下被一行一行地填充。瀑布图中的每一行叫做一个帧，每一帧代表一个包含若干 FFT 的频谱。由于图表是由上到下进行填充，最上面的一条线始终代表最新的频谱，而之前的 FFT 不断向下移动。

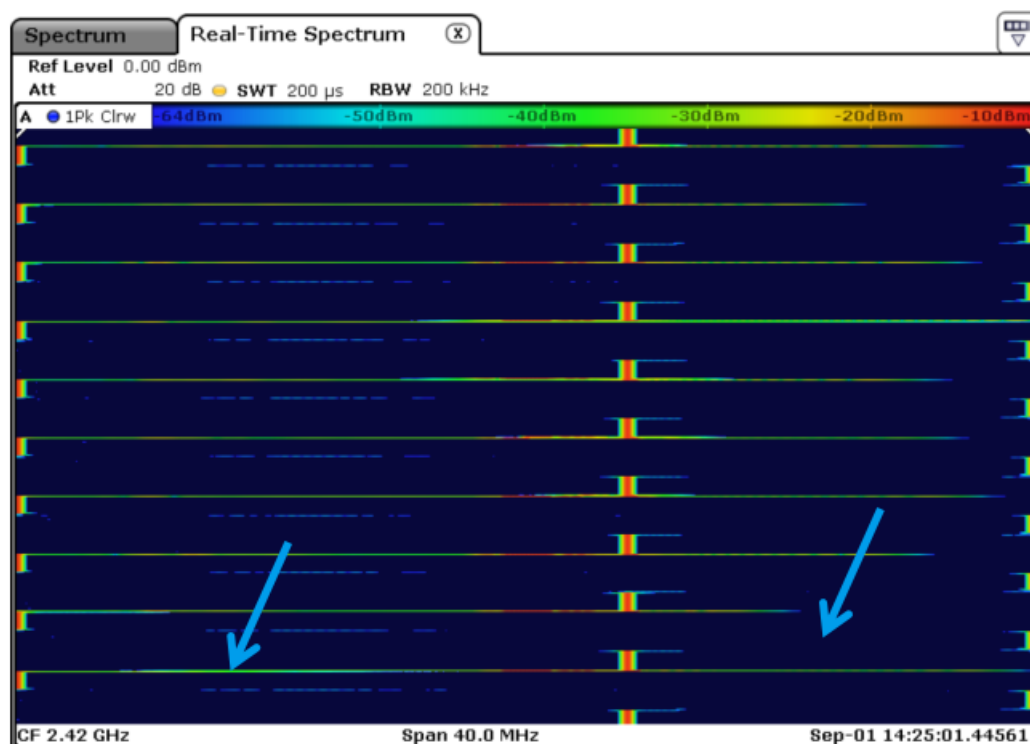


图 4-1：跳频器在三个频率之间有规律跳变。第一个跳变具有明显的 RF 功率，第二个跳变的过渡区几乎没有功率。箭头指明了过渡区

瀑布图是一种分析随时间变化的频谱的强大工具。典型的应用是 VCO 的瞬态变化，

以及对跳频信号的分析。

图 4-1 显示了一个在 3 个频率之间跳频的跳频信号。可以明显地看出来，在第一次跳频（最低频率跳变到中间频率）时信号并没有完全关闭，而第二次跳频的时候则观察不到显著的 RF 电平。

4.1.1 参数

瀑布图提供了多种可设置的参数，以帮助用户针对特定应用优化显示。在前面提到过，用户界面是由频谱分析仪的用户界面演化而来，使用非常直观。对于参数设置也与频谱分析仪相似。

中心频率，Span，RBW

为了针对 VCO 瞬态分析对瀑布图进行优化，首先将实时分析仪的中心频率设置为 VCO 的目标频率。中心频率左右的一个频带信号进入分析仪的 IF 部分，并最终被数字化。这个频带的带宽在 R&S FSVR 是 40MHz，R&S FSW 是 160MHz。根据 FFT 原理，最大的 IF 带宽就是可以在实时模式下显示的最大 span。

在实时 FPGA 中，分辨率带宽（RBW）是与 FFT 长度和 span 绑定的。在 R&S FSVR 中 FFT 长度是固定的，所以它的 RBW 不能手动设置。R&S FSW 加 K160R 允许使用不同的 FFT 长度。通过选择特定的 span/RBW 比例，可以改变给定 span 下的 RBW。在不同的窗函数下，可用的 span/RBW 比例不同，表 4-1 显示了各种窗函数下可用的最大 span/RBW（使用 16k FFT 时的 span/RBW）。很明显，FFT 或窗口长度随着选定的比例变小而变小。

Maximum span/RBW ratio (16k FFT)						
Blackman	Flattop	Gaussian	Rectangle	Hann(ing)	Hamming	Kaiser
3200	1600	3200	6400	4000	4000	3200

表 4-1：不同窗函数下可选的最大 span/RBW 比例

扫描时间（Sweep Time），检波器（Detector）

在 4.1 节讲到过，瀑布图显示的是连续变化的频谱，每一个频谱由多个 FFT 组成。扫描时间这个参数与 FFT 长度和采样率共同决定了一个频谱中的 FFT 数量。

扫描时间这个名称是取自于传统频谱分析仪。在扫频式频谱仪中，扫描时间代表了本振（LO）扫过选定 span 的速度（获取整个频谱所需要的时间）。现代信号和频谱分析仪虽然使用 FFT 计算代替了 LO 扫描，但是仍然继续使用这个名称。但是要时刻记着，对于 FFT，扫描时间指的是数据获取时间，并不是总的测量时间，因为扫描时间里面没有包含 FFT 计算所需要的时间。

带着对扫描时间的这种理解可知：实时频谱包含了选定扫描时间内的数据。因为 FFT 计算是连续进行的，所以扫描时间这个参数决定了每一个频谱是由多少个 FFT 组成的。

将扫描时间内的若干个 FFT 组合成一个频谱提供了对每个 FFT 做权重处理的可能：平均就是其中一种。另外的组合若干个 FFT 的方法就是对每个频点取最大或最小值，或者任意选取一个 FFT 结果用来表示整个扫描时间。为了从多个 FFT 得到一个频谱，使用了一种叫做检波器的方法。在传统频谱分析仪中，检波器使用特定的算法将多个测量点组合成一个迹线上的点。在实时分析仪中的检波器则将多 FFT 组合成一个频点，与传统频谱分析仪中的检波器等价。可使用的检波器包括 Average、Positive Peak、Negative Peak、Sample。默认的检波器是 Positive Peak 检波器，这样可以保证即使最短的事件也可以分析。只有在瀑布图和实时频谱显示时会用到

检波器，见图 2-1。

总而言之，检波器和扫描时间这两个参数描述了把多个 FFT 对应到一个频谱的数据缩减方式，图 4-2 显示了一个峰值检波器。

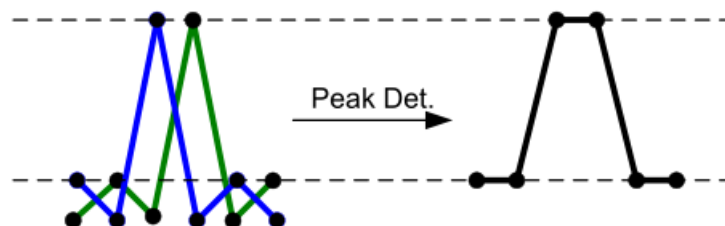


图 4-2：峰值检波器将两个 FFT 组合成一个频谱

历史深度

Rohde & Schwarz 实时分析仪会把显示的频谱存在内存中，类似 I/Q 数据。显然，因为每个扫描时间内频谱迹线只包含 801 到 1001 个点，所以存储频谱迹线需要的内存要比存储 I/Q 数据少得多。设备的内存足够存储 100000 个频谱。在前面例子中的扫描时间（200 μ s），最大的瀑布图历史深度是 20 秒，如果扫描时间设为 30ms，则瀑布图可以包含 3000s，几乎接近一小时。在对分析仪进行连续操作时，可以直接将历史深度乘以 10000 帧的扫描时间，得到最大显示时间。如果分析仪处在触发模式或者正在执行单次扫描，则在瀑布图中会有一些间隔，用黑线显示。这种情况下就不能将历史深度直接转换成时间（见图 4-3）。

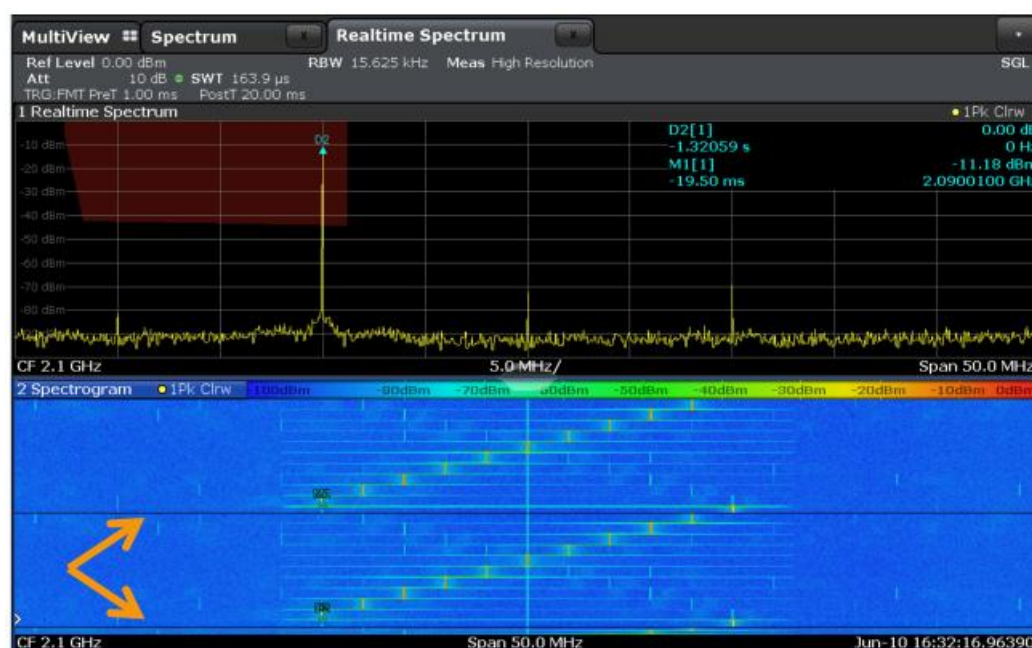


图 4-3：瀑布图中有两条黑线，表示非连续数据采集，即存在由于触发模式或单步扫描所产生的间隔

颜色映射

瀑布图显示的一个关键元素就是颜色映射，即功率值到对应颜色的一个映射。为了帮助用户从瀑布图中的到期望的信息，Rohde & Schwarz 实时分析仪为颜色映射提供了 4 个可供调节的主要参数。它们是：

- 颜色图：它决定了来用做幅度编码的颜色集。“暖色”包括了整个颜色频谱，其中蓝色表示低电平，红色表示高电平。“冷色”表示相同的范围，但是颜色值相反，比如红色表示低电平。“Radar”的范围包括从黑色到整个绿色系，从深绿到浅绿。“Grayscale”是黑色和白色，范围从黑色（低电平）到灰色再到白色。

- 起始值：它决定了颜色开始变化的门限值。所有比起始值低的电平都表示成相同的颜色，在例子中是深蓝色。比例值指的是相对于参考电平的数值比。
- 终止值：它决定了上限值。所有比终止值大的电平都表示成相同的颜色，在例子中是浅红色。
- 形状值：介于-1 和 1 之间的数值。数值 0 表示颜色从最低门限到最高门限之间成线性分布。大于 0 的值表示对于高水平变化较剧烈，因而会用更多的色阶来表示高水平的部分。对于小于 0 的值，接近最低门限的电平则会用更多的色阶来表示。

实时分析仪帮助用户对成概率分布的功率值进行颜色设置。在动态刷新的瀑布图下方显示概率分布图。图的左边部分可以清楚地看出呈高斯分布的底噪。可以改变起始值，将底噪排除以便清晰地观察要研究的信号。

默认设置是采用线性颜色映射曲线，范围从参考电平到可显示的最小电平。

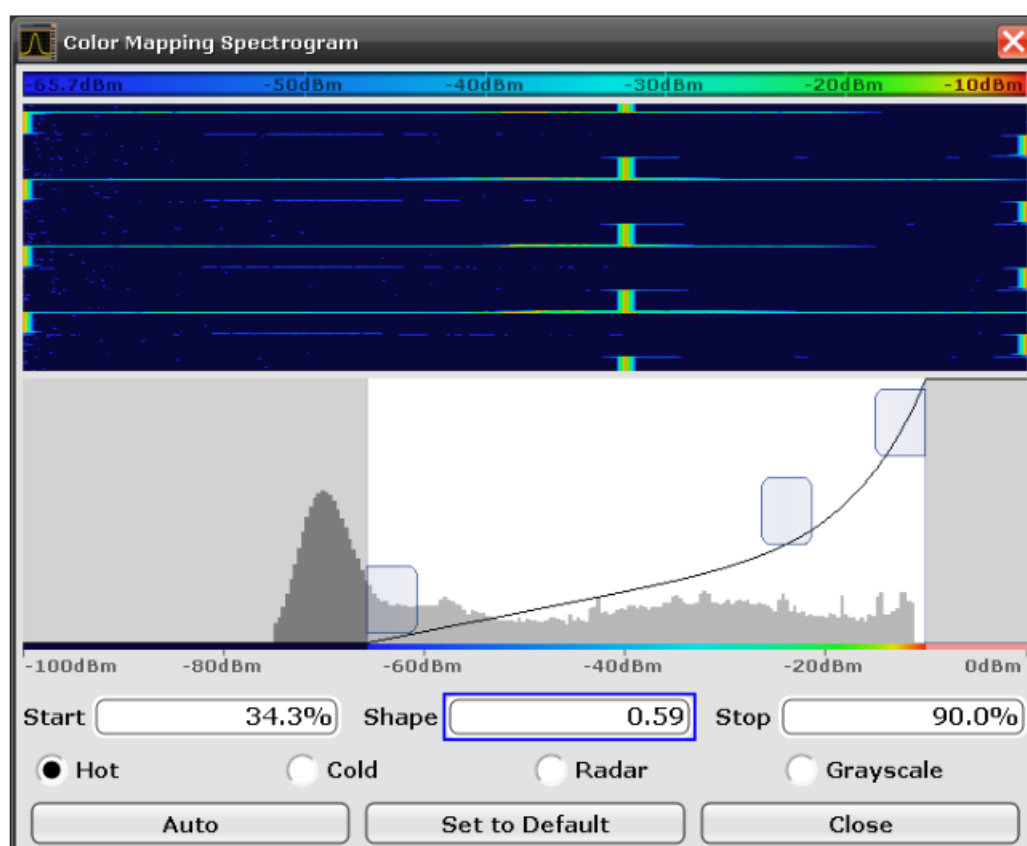


图 4-4：颜色映射：通过增大颜色图的低端值来隐藏噪声——为了使大于-20dBm 的信号更容易区分，图中同时修改了默认的直线。

4.2 实时频谱的瀑布图

为了对瀑布图进行详细分析，特别在后处理过程中进行分析，打开一个实时频谱图常常会很有用。实时频谱图总是显示一个频谱（即瀑布图的一条线或一个帧）。在实时频谱图上显示具体哪一个频谱，是由当前 **Marker** 的时间位置来决定的。如果当前没有 **Marker**，则会显示最新的频谱（最顶端的线）。

将瀑布图与实时频谱图结合起来是一种对时间和频谱进行详细分析的工具。因为电平是用颜色来编码的，所以要想把 **Marker** 放置到瀑布图中期望的峰值上是非常困难的。这个例子所研究的信号是一个带有部分调频（FM）的 **CW** 信号。为了分析两个连续的 **FM** 部分之间的时间，使用了一对 **Marker**。会出现两个输入框指示当前 **Marker** 的时间和频率。

在上面的例子中，调制信号是已知的，是一个 1kHz 的 CW 信号。对于 1kHz 的调制信号，在 RF 载波两边频偏 1kHz 处，会存在相应的两个明显的峰值。可以将 Marker 放置到 FM 部分的两边 1kHz 频偏处。Rohde & Schwarz 实时分析仪中，可以通过触摸屏或者时间与频率输入框来移动 Marker。不管 Marker 是否恰好设置在了两个旁瓣上面，都可以通过实时显示来控制 Marker。

Marker 峰值搜索功能既可以用在时间轴，也可以用在频率轴。默认搜索轴是频率轴。对两个轴同时进行最大值搜索也是可以的（2D 搜索）。Marker 搜索功能既可以在整个显示出来的瀑布图中使用，也可以用在存储在内存中的整个瀑布图（最多 10000 条线）。对时间测量的结果可以直接从 Delta Marker 的 Frame Time 框中得到。Delta Marker 的频率和时间总是相对于对应的参考 Marker。图 4-5 显示了时间测量结果。

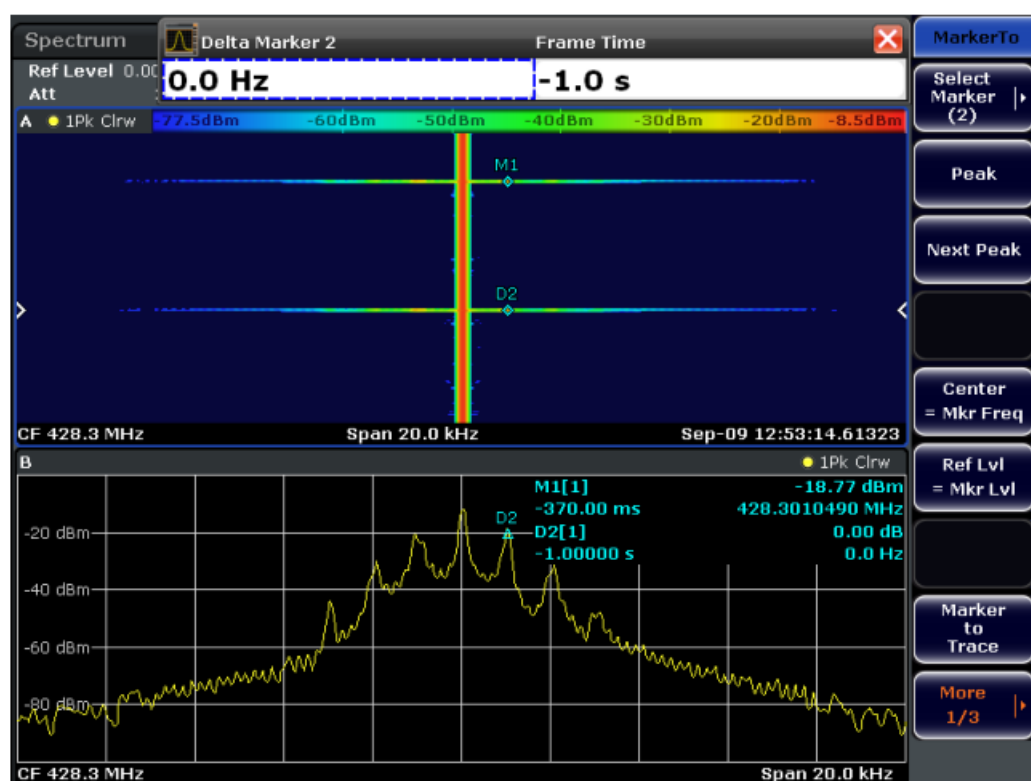


图 4-5：分屏瀑布图与实时频谱的时间测量

4.3 余辉频谱（Persistence Spectrum）

余辉图可能是最广为人知的实时显示方式。它也称作频谱历史概率图。这两个名字表示了这种显示模式的主要特征：余辉以及历史概率信息。余辉可以帮助人们观察到肉眼无法看到的短暂事件。历史概率信息可以用来比较频率相同，但是调制方式不同的信号。

余辉频谱与普通频谱显示一样，用横轴表示频率，纵轴表示幅度。而每一个点用其颜色来表示历史概率信息。

余辉频谱的一个典型应用是分析时变信号。用户可以在对信号进行详细分析之前，通过余辉图对信号有个总体认识。快速跳频信号可以通过余辉频谱中的幅度下降很明显的区分；而分析仪则可能误导用户。与瀑布图显示相比，余辉频谱图可以提供更高的幅度分辨率，因为余辉频谱图不使用颜色编码。图 4-6 显示了两个余辉频谱，一个是在 2.4GHz ISM 频段的频率可变被测件，另外一个是在 5GHz 频带。在截屏的时刻，信号正处在频谱的右边部分。不管是同一个信号，还是另外的信号曾经落在中心频率处，通过余辉都可以清楚地看到。

R&S FSW 提供了一个独特的特性，可以支持顺序的操作若干个实时选件，并且同时显示所有的选件。因此两个或更多的不同频带可以同时显示，无论频带之间是连续的或者有间隔的。

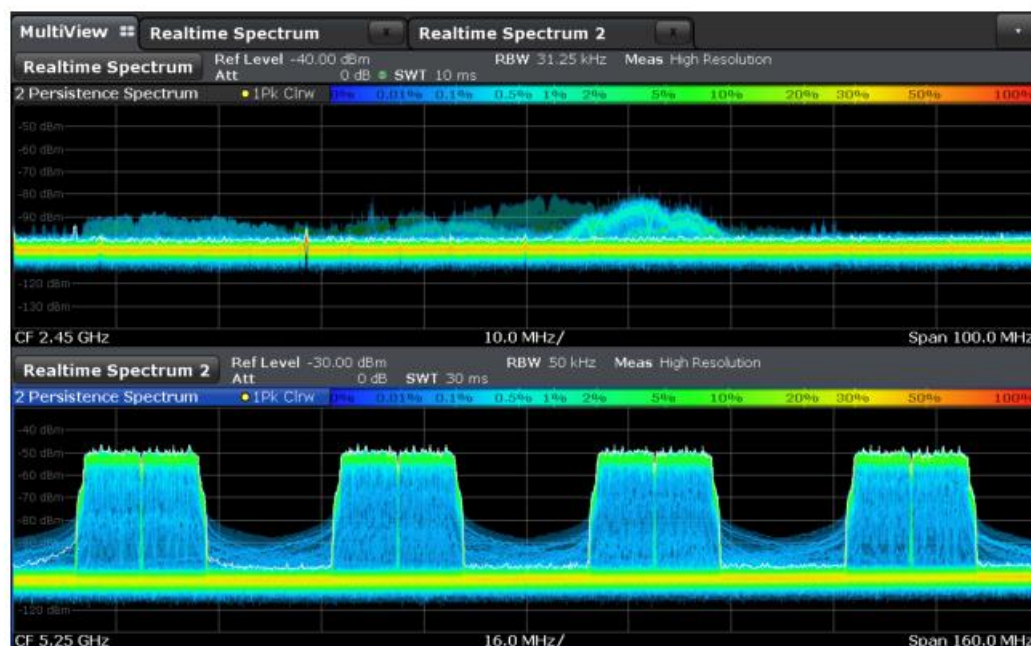


图 4-6: 2.4GHz ISM 频段和 5GHz 频段的频率捷变被测件。余辉图显示时间比信号持续时间更长

余辉频谱的另一个应用是用频率、功率的概率分布来区分相互重叠的信号。图 4-7 显示了一个由发动机的电刷产生的类噪声信号的余辉频谱。在 span 的中间可以明显看到一个弱的 WCDMA 信号。用标准频谱分析仪是无法区分这两个不同信号的，因为标准频谱分析仪无法显示每个信号点的概率。

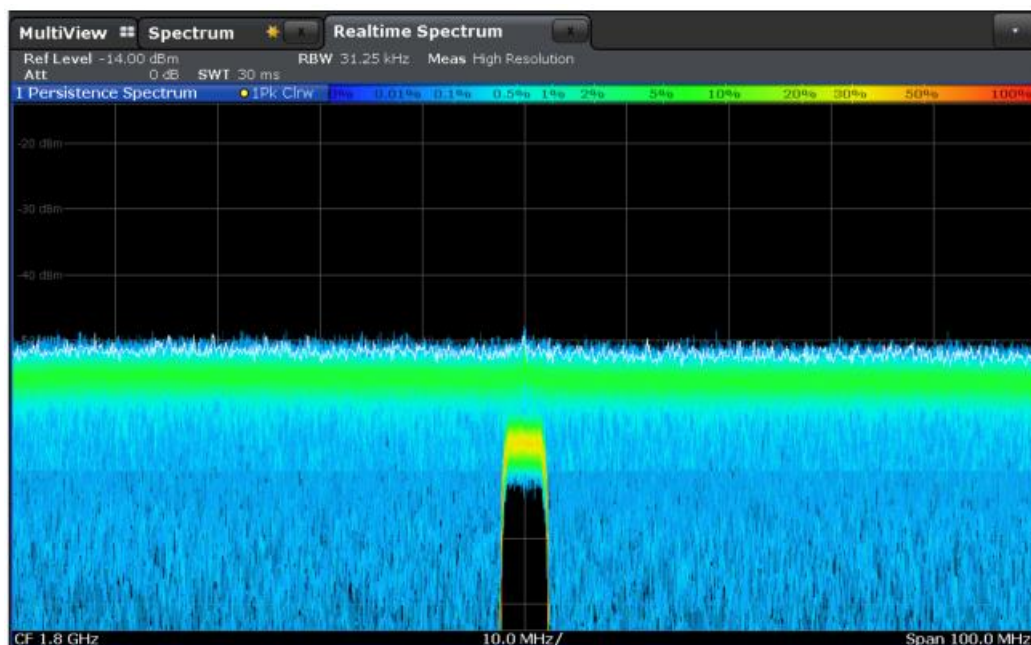


图 4-7: 一个 WCDMA 信号被宽带类噪声信号所覆盖

4.3.1 参数

中心频率、Span、RBW

这几个参数定义了实时分析仪的频率和带宽设置。所有实时显示方式下这些参数的含义都是一样的。

余辉粒度 (Persistence Granularity)

每一个历史概率图都是在余辉粒度时间内计算的。原始的零矩阵是 600×1001 个元素 (R&S FSVR 是 600×801)，代表了 600 个离散的功率值和 1001 个离散的频率步进。假设使用整个 160MHz 的 span 和 1024 个点的 FFT，R&S FSW 使用每秒 585938 次的 FFT 刷新率，则 $1.71\mu\text{s}$ 计算一次 FFT。在默认的 100ms 的余辉粒度下，对一个矩阵元素最大计数次数是 60000。对于每一个历史概率图 (每一个 100ms 的间隔) 的计算完成后，矩阵的每个元素就会被设置为 0。

图 4-8 显示了整个处理过程，图中使用 6×8 的矩阵和 FFT 时间粒度比为 2，来代替 600×1001 矩阵及粒度比例 60000。计算了 2 个 FFT，这两个 FFT 都包含同样的信号和信号附近的噪声。图 4-8 展示了从 FFT 到频率-幅度矩阵的转换过程。这两个矩阵相加得到了最终矩阵。得到的矩阵决定了结果迹线的颜色。在这个例子中，红色代表出现概率高，而蓝色表示出现概率低，也就是噪声用蓝色表示。

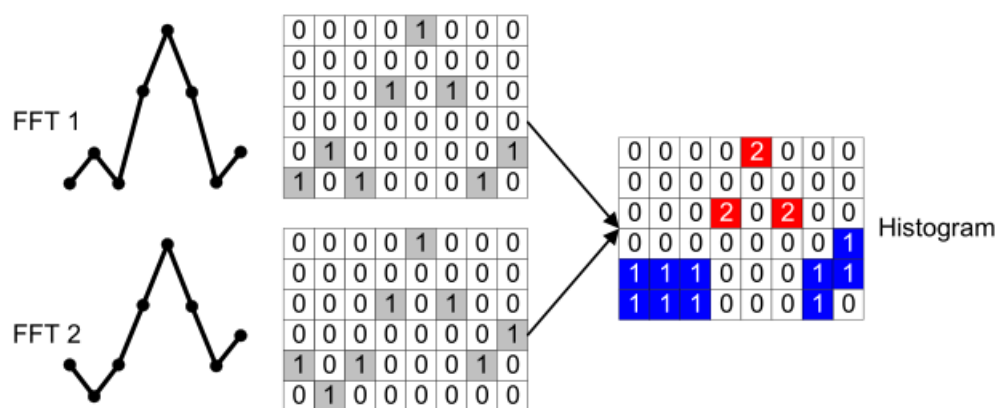


Fig. 4-8: Schematic of histogram calculation (dot style)

图 4-8: 历史概率图计算过程示意 (点状样式)

余辉时间

余辉时间参数决定了一条迹线完全消失所用的时间。在这个时间内，迹线的密度逐渐减小。由于每一条新的迹线都是用全密度显示，使用迹线衰减，即使相邻实时概率图显示在通一个图中，也可以相互区分。余辉特性是模仿使用阴极射线管的仪器的余辉效应。

MaxHold 密度

在分析时变信号时，经常会特别关注信号幅度的变化，更具体地说，就是当前信号和最大信号的幅度比。在研究噪声和干扰时，使用 MaxHold 迹线可以对最差情况下的信噪比 (SNR) 进行估计。而对于有用信号，则可以进行幅度变化估计。在余辉频谱显示方式中，可以在余辉频谱上面可以显示一条 MaxHold 迹线。正如前面提到的，余辉迹线的密度会逐渐衰减。而 MaxHold 迹线则会有一个透明度的值，用来决定 MaxHold 迹线和余辉频谱。MaxHold 密度这个参数就是用来决定透明度的。如果完全不透明，迹线就无法与当前历史概率图区分。

每当更改了 R&S FSVR 的某个设置，或者按下 Reset MaxHold 按钮时，MaxHold 迹线就会被清除。

样式

图 4-8 中的 FFT 矩阵对每一个频率列只包含一个值。这个值是 FFT 返回的幅度值。这个例子使用的是点样式，即矩阵只使用点来填充。作为对比，矢量样式模式强制每个元素至少有一个相邻元素。两个相邻频率总是连接成一个元素，与幅度差相互独立。为了从图 4-8 的矩阵得到图 4-9 的矩阵，插入了另外一个 1 元素以使得第 4 列的“1”与第 3 列和第 5 列的“1”相连接。图 4-9 中使用的例子与图 4-8 完全相同，但是显示方式由点样式改成了矢量样式。

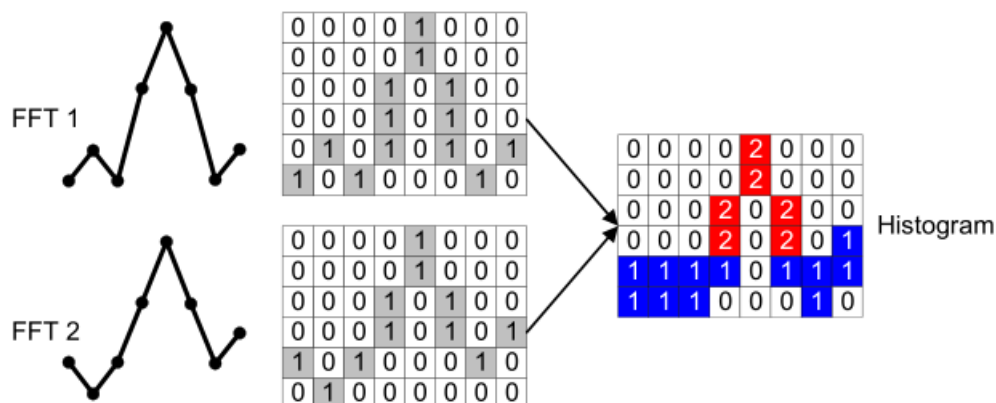


图 4-9：使用矢量样式来计算历史概率图

当从点模式变为矢量模式时，增加的“1”元素会导致概率增加，这种增加在类噪声信号（如大的幅度起伏）附近能够明显看出来。

实时 FFT 迹线：检波器、扫描时间

余辉频谱显示是从 FFT 结果中直接创建余辉和历史概率图的。不需要像瀑布图中那样用检波器来进行数据缩减，因为历史概率算法已经用一定比例减少的数据。在余辉频谱模式下对检波器的设置仅仅影响在余辉频谱上面画出来的实时频谱迹线。这可以帮助用户快速识别最新的信号形状。对于 FFT 绘图，通常的参数如检波器、扫描时间、以及迹线模式都可以使用。这些参数只影响实时 FFT 迹线，而不影响余辉和历史概率图的显示。

颜色映射

余辉频谱中的颜色映射与瀑布图中相同。这两种显示提供了相同的对话框，其作用也完全相同。对话框下方的概率分布提供了用颜色编码的概率的信息。

对话框提供了一个多选框。当它被选中时，所有小于起始值以及大于终止值的值都会用黑色，而不是最低与最高颜色来显示，即它们将会隐藏掉。这种特性在只需要显示特定概率的频谱分量时特别有用。

每当余辉样式从矢量变为点状或者反过来是，一般需要重新进行颜色映射，因为如前面所述，得到的概率可能会有很大变化。

5 订购信息

名称	型号	订购号
信号与频谱分析仪，2Hz~8GHz	R&S® FSW8	1312.8000.08
信号与频谱分析仪，2Hz~13.6GHz	R&S® FSW13	1312.8000.13
信号与频谱分析仪，2Hz~26.5GHz	R&S® FSW26	1312.8000.26
信号与频谱分析仪，2Hz~43GHz	R&S® FSW43	1312.8000.43
信号与频谱分析仪，2Hz~50GHz	R&S® FSW50	1312.8000.50
FSW-B160 扩展展 160MHz 信号分析带宽	R&S® FSW-B160	1313.1668.02
FSW-K160R 实时分析应用	R&S® FSW-K160R	1313.5340.02
实时频谱分析仪，10Hz~7GHz，40MHz 带宽	R&S® FSVR7	1311.0006.07
实时频谱分析仪，10Hz~13GHz，40MHz 带宽	R&S® FSVR13	1311.0006.13
实时频谱分析仪，10Hz~30GHz，40MHz 带宽	R&S® FSVR30	1311.0006.30
实时频谱分析仪，10Hz~40GHz，40MHz 带宽	R&S® FSVR40	1311.0006.40

罗德与施瓦茨公司

罗德与施瓦茨是电子仪器业界独树一帜的公司。罗德与施瓦茨专注于测试和测量、广播、无线电监测和无线电定位、以及保密通信领域，是这些领域解决方案的顶级提供商。罗德与施瓦茨成立于 1933 年，而今，它在全球具有影响力，在全世界 70 多个国家设有专业服务网络。公司总部位于德国慕尼黑。

环境承诺

- 节能产品
- 在环境可持续性方面持续改善
- ISO 14001 认证的环境管理体系

Certified Quality System
ISO 9001

R&S® 是罗德与施瓦茨公司的注册商标，商品名是拥有者的商标。

罗德与施瓦茨中国有限公司

客户支持热线：800-810-8228. 400-650-5896

customersupport.china@rohde-schwarz.com

中文网站： www.rohde-schwarz.com.cn

国际网站： www.rohde-schwarz.com