

量化比特深度 (Bit Depth) 在 GNSS 记录与回放测试中的重要性

为什么量化比特深度在记录用于实验室回放的真实信号时意义重大

记录与回放测试：为什么量化比特深度意义重大

在对依赖全球导航卫星系统 (GNSS) 的设备进行测试时，许多制造商和芯片集成商都会使用记录与回放解决方案，在实验室中实现真实信号环境的可靠测试。

然而，取决于您的记录与回放系统 (RPS) 所能实现的比特深度，在将模拟信号转换为数字测试文件的进程中，可能会产生有缺陷的信号环境镜像，损害您的测试工作中期望努力确保的保真度。

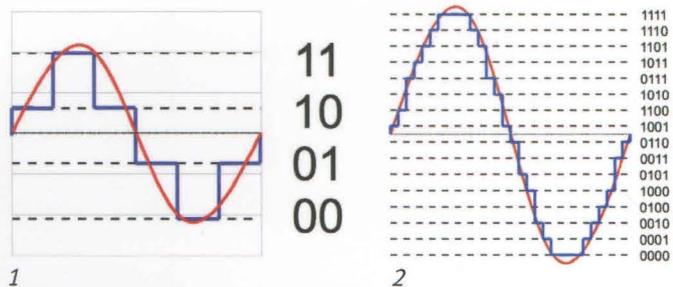
本白皮书将解释这一切如何发生、在 RPS 中使用低量化比特深度所造成的不良影响、以及制造商和芯片集成商应该如何精确重现真正的信号环境，进而确保处于可靠的真实世界环境下开展测试。

什么是 (量化) 比特深度？理解记录与回放的量化

RPS 解决方案会记录实时无线电射频 (RF) 环境，并用于日后在实验室中回放出来。为此，该过程中需要使用一种模拟-数字转换器 (ADC)，将实时模拟信号转换为一个数字文件。

在转换信号时，ADC 将使用一定数量的位 (比特)，而用于将 RF 信号数字化的位数量将决定测得信号的分辨率。例如，一个 16 位 ADC 可以将信号转换为 65,536 个不同的级，而 8 位 ADC 只能将其转换为 256 个级。

位深度	级数
1	2
2	4
4	16
8	256
16	65,536



所用的位深度越高，可记录到的信号级数就越多，也就更容易对模拟 RF 环境进行清晰，更详细的解释可参考维基百科。

- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2-bit_resolution_analog_comparison.png
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:4-bit_resolution_analog_comparison.png

量化比特深度 (Bit Depth) 在 GNSS 记录与回放测试中的重要性

为什么量化比特深度在记录用于实验室回放的真实信号时意义重大

比特深度如何影响测试?

低比特深度对测试的不利影响

您的 RPS 所具备的比特深度会对所创建的记录类型产生两方面的影响, 同时也会对它们的测试产生影响:

1: 较高的比特深度可提高信号还原的质量

总体而言, 比特位越多, 输入信号的重现质量就越高。有了更好的信号重现, 您的 RPS 就能在回放期间更好地还原真实的世界。

使用较低的位深度则会损害重现出 GNSS 信号完整载噪比 (C/No) 的能力。C/No 的下降取决于您所记录的 GNSS 信号的码片率 (chipping rate)、记录的带宽, 以及您的 RPS 本身的比特位深度。

载噪比的下降: 示例

码片率为 1.023Mbps 的 GPS L1 C/A 信号会出现如下表所示的 C/No 下降:

位深度	CNo 下降
1	-2.1dB
2	-0.63dB
4	-0.1dB

对于码片率更高的信号 (例如 GPS L5、Galileo E5A 和 E5B 的 10.23Mbps), 载噪比的下降幅度分别是: 1 位量化时介于 -2.3dB 和 -3.5dB 之间, 2 位量化时介于 -0.7dB 和 -1.2dB 之间, 以及 4 位量化时的 -0.15dB 至 -0.5dB。³

2: 比特深度决定着被记录信号的动态范围

动态范围是 RPS 可记录的最大和最小信号之差。在无意和有意干扰变得越来越普遍的情况下, 动态范围的重要性也随之提高。您需要确保 RPS 系统的比特深度能够涵盖收录这类问题信号所需的动态范围。

模数转换器的动态范围的计算方法是将最大和最小振幅相除, 并将其转换为分贝。总体而言, 模数转换器所用的每个位都可以让动态范围增加 6dB, 具体情况如下表所示。这意味着如果两个信号的差别超过 12B, 则 2 位量化就会丢失信号, 而且无法正确地记录 RF 频谱。

位深度	动态范围
1	6dB
2	12dB
4	24dB
8	48dB

真实的 RF 信号中包含众多的信号和编码。例如, GPS L1 中包含码分复用 (CDMA) 波形, 其中又包括两种扩频码 - 粗捕获 (C/A) 和加密精确 P(Y) 编码。要将这些转换为适合数据处理的形式, 信号要转变为同相和正交形式, 即 I 和 Q。ADC 要在每一种形式上执行。

因此, 理解比特深度对 I 和 Q 的意义非常重要。有些 RPS 制造商所标称的只是 I/Q 的整体比特深度数值。例如, 所标称的 2 位只是 1 位 I 和 1 位 Q。如果您需要的是真正的 2 位 I 和 2 位 Q 转换, 那么这样的 RPS 只会对您的测试带来损害。

3. H.Chang, 数字匹配过滤器性能的预采样、过滤、采样和量化效应, 国际遥测会议记录, 1982 年, 第 889-915 页。

我需要多大的比特深度？

不同的测试要求需要不同的比特深度

在理想的条件下，您肯定希望使用 16 位的 RPS 记录一切，实现最高的分辨率和最大的动态范围。然而，这样做会产生大量的数据，在某些测试行动中很可能是一种糟糕的选择。

以下是一些常用的测试场景，包括应使用哪些比特深度的建议及其理由。

示例 1：测试干净的 RF 环境

如果 RF 干扰未出现，则 2 位记录与回放系统即可完全胜任对 1 位系统的测试，即可接受的最大载噪比 (C/No) 损失为 3.5dB。

在选择接收机时要记住的是，1 比特位模块会经历最大 3.5dB 的载噪比损失。这种损失可能决定接收机是否能够锁定卫星，尤其是在仰角较低条件下。如果出现这种情况，可能导致被跟踪卫星的数量减少，并减弱其几何特征，从而发生定位和精度估计不准的情况。

在任何情况下，确保 RPS 的保真度高于被测系统的保真度都是至关重要的。因此，如果您要测试的是一台 8 位接收机，使用 2 位 RPS 只会使信号在进入被测系统之前便发生严重的质量恶化。如果您的目标是测试精确度和准确度，那么这样的选择无疑是非常糟糕的。测试的关键成果应当是确定您的设备有怎样的极限，而不是找出测试设备的极限。

示例 2：真实世界测试

在真实世界中，RF 干扰是一个非常普遍且通常十分复杂的问题。例如，在一个有高密度电信信号的地区（这在今天的世界中很常见），杂散的信号会对 GNSS 波段产生干扰。与此类似的是，都市环境也提供了大量的高大建筑物和带棱角的平面，这些都可能形成信号折射，对接收机的性能造成干扰。

在很多情况下，干扰并不会完全阻断 GNSS 信号，而只是使信号的质量恶化。当这种恶化达到某个临界点后，设备便会做出一些人们意料之外的反应。如果您正在此类环境中测试最新的接收机，最重要的就是重现真实的环境，了解您的设备在真实条件下的具体反应。1 位和 2 位系统缺乏足够的比特深度，根本不可能精确地复制出复杂的真实环境。它们不仅会导致载噪比损失，而且只能提供极低的动态范围。

如果您使用的是低比特数 RPS，量化过程可能会修改干扰信号。这就可能导致接收机在此类被篡改的干扰下表现良好，但在面对真实世界的干扰时却可能影响可阻碍性能的正常发挥。

我们建议您使用比特深度较大的 RPS 进行测试，而且如果在运行过程中存在任何疑似的干扰，其比特深度至少应当高于被测系统本身。

示例 3：有意及无意干扰的消减

如果您正在努力理解和消减有意及无意干扰对您的设备造成的影响，您就需要一种能够在实验室中精确回放干扰的方法。低比特位的 RPS 系统所具备的动态范围不足以涵盖典型的有意及无意干扰，因此您需要比特深度较大（8 位或 16 位）的 RPS。只有这样才能精确地回放您测试中所用的信号和干扰。接下来几页中的图表将有助于突显比特深度的重要性。

量化比特深度 (Bit Depth) 在 GNSS 记录与回放测试中的重要性

为什么量化比特深度在记录用于实验室回放的真实信号时意义重大

思博伦 GSS6450 简介

思博伦 GSS6450：高度灵活的 16 比特 RPS 解决方案

思博伦的 GSS6450 RF 记录回放系统可提供高达 16 比特的量化，确保您的测试能够反映出设备未来运行的真实环境。GSS6450 采用电池供电的便携式小型机箱，能够以多种比特深度和高达 50MHz 的带宽记录各类信号环境。

思博伦 GSS6450 可以帮助测试工程师和系统集成人员完成以下任务：

- 利用真实的 GNSS 信号对测试进行测试
- 利用 16 位的比特深度支持确保真实的 RF 回放
- 凭借小巧的强固设计提高测试的灵活性
- 内置电池可持续运行最长 1.5 小时
- 使用所有主要的 GNSS 星座和信号带宽开展测试

GSS6450 动态范围对比

不同 RPS 比特深度的动态范围对比

利用思博伦 GSS6450 内建的多重 RF 频谱分析工具，测试人员执行了一系列的测试，以便更好地理解不同的比特深度对信号记录时动态范围的影响。这些测试在执行时都使用了相同的输入信号，但每次的比特深度都有所变化。

首先在 GPS L1 的中心频率 1575.42MHz 生成了一个多音 (Multi-tone) 信号，高于噪声本底约 24dB。然后在约 1585.5MHz 添加干扰机信号。该信号的强度比多音信号高出约 31dB，并用于仿真干扰信号高于噪声本底 30dB 的真实世界信号。该输入信号的频谱如下面的图 1 所示。

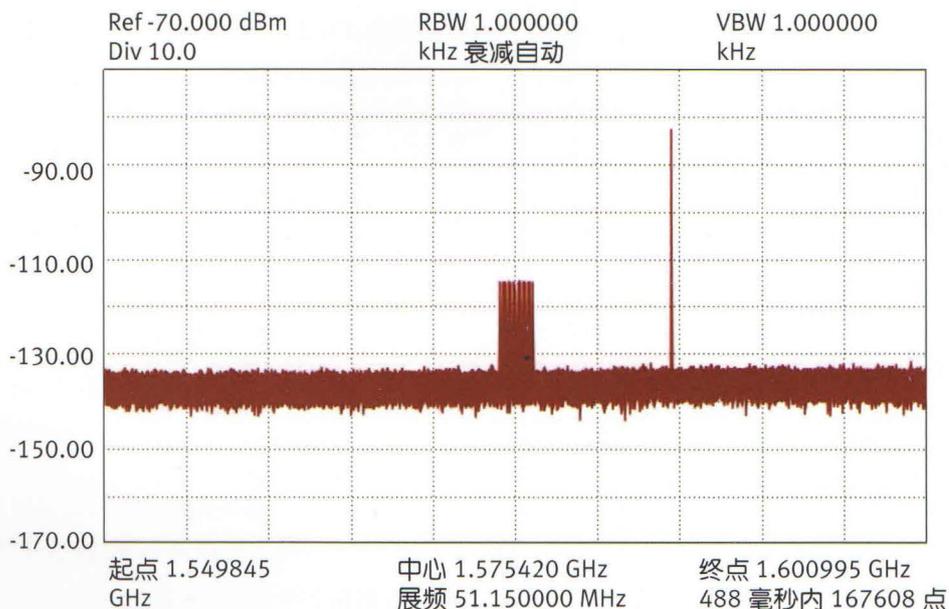


图 1：输入信号

接下来，思博伦 GSS6450 被设置为实时测试模式，且测试人同对其频谱进行了监测。下图（图 2）显示的是 8 比特分辨率时的频谱。凭借 48dB 的理论动态范围，该系统正确地表达了间隔 30dB 的两个信号。

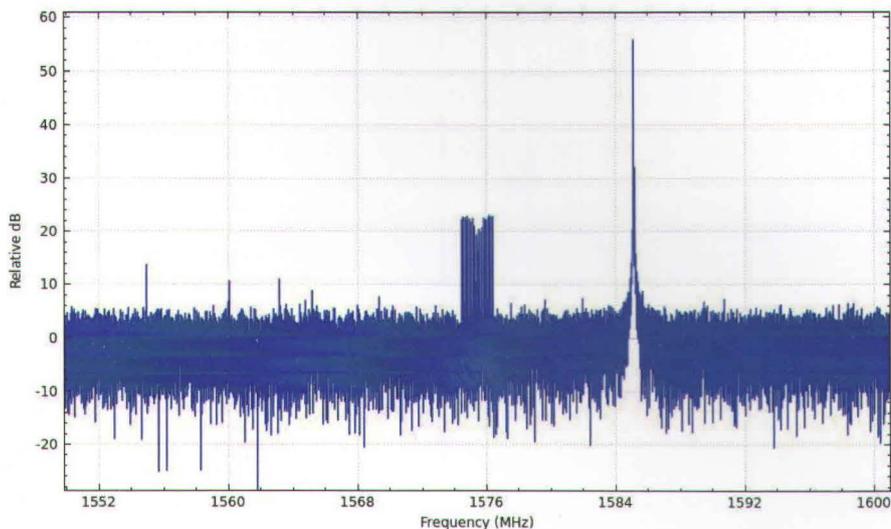


图 2: GSS6450 频谱分析 – 8 位分辨率

此后，采样信号的位深度被降至 4 位，而频谱中的变化显而易见（见图 3）。

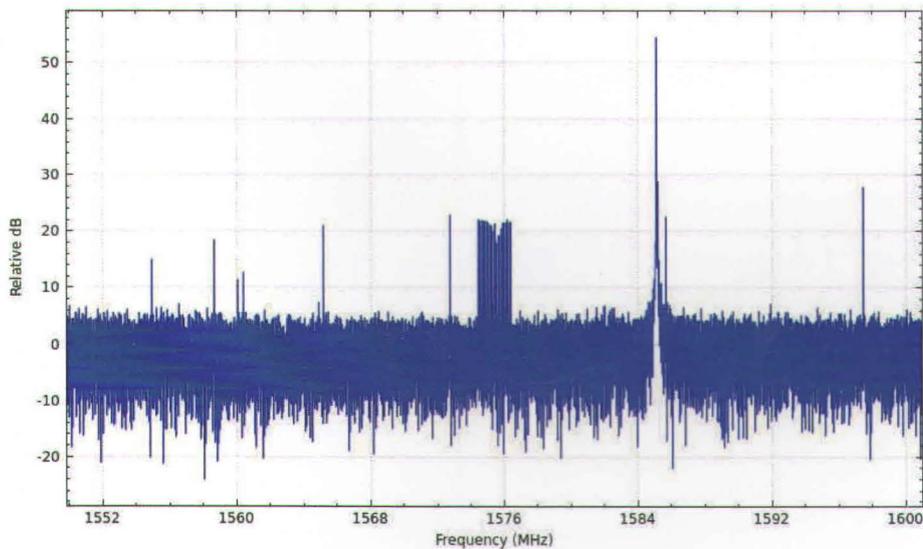


图 3: GSS6450 频谱分析 – 4 位分辨率

由于只有 24dB 的动态范围，4 位 RPS 无法精确地重现信号。因此，30dB 的干扰机便开始破坏频谱。干扰机信号的相对振幅并没有改变，但中心频率的多音声信号已经受到了 2dB 的压制，而且还开始出现一些杂散信号。

接下来，当比特深度降至 2 时，我们可以看到频谱中发生了更显著的变化（图 4）。中心频率的多音信号进一步下降至 18dB，且出现了多个杂散信号。

量化比特深度 (Bit Depth) 在 GNSS 记录与回放测试中的重要性

为什么量化比特深度在记录用于实验室回放的真实信号时意义重大

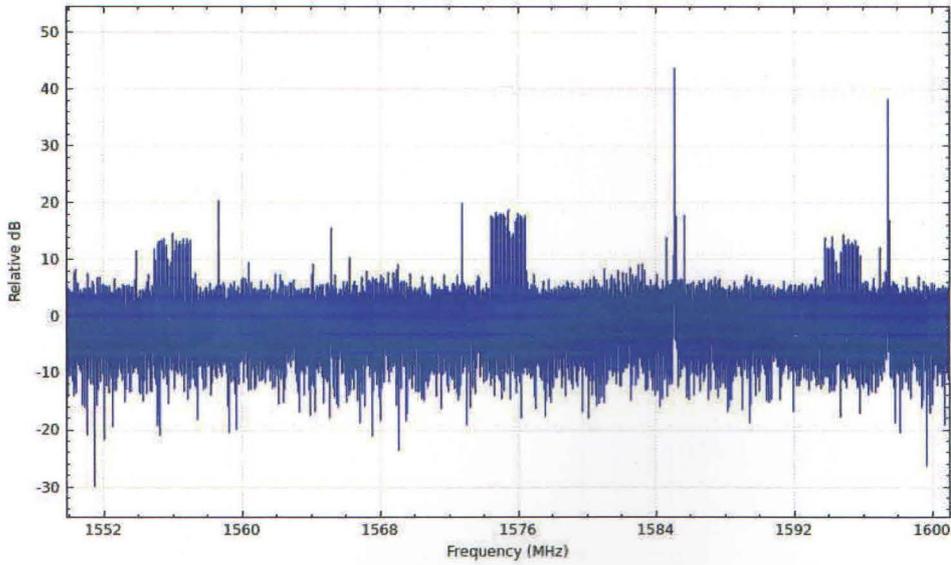


图 4: GSS6450 频谱分析 - 2 位分辨率

当比特深度降至 1 位时，可以观察到更进一步的恶化（图 5）。

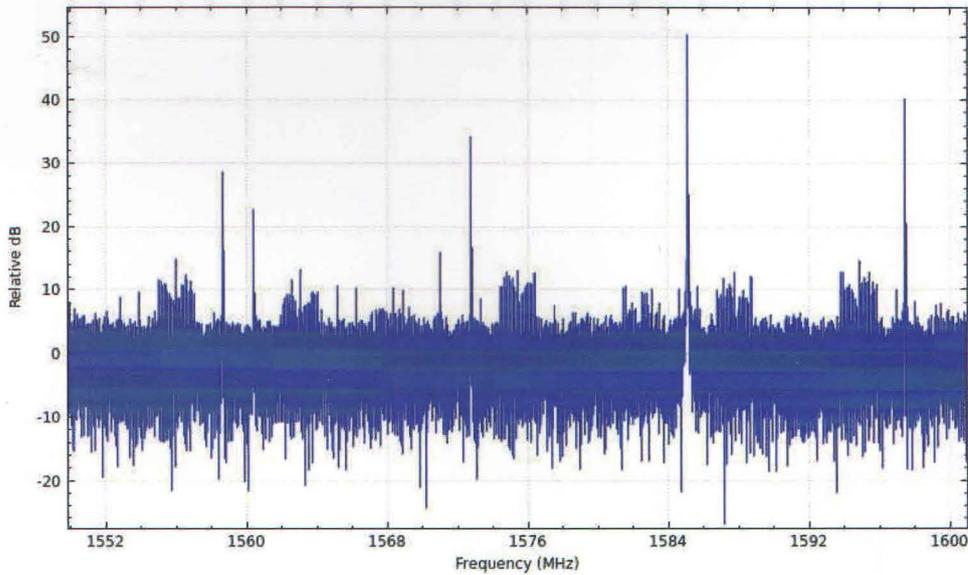


图 5: GSS6450 频谱分析 - 1 位分辨率

在这里，中心频率处的信号已经被压制了 10dB，且整个频谱上出现了多个杂散信号。

实验说明了什么

分析表明，您在记录信号时使用的比特深度越大，回放的保真度就越高 – 包括保持载噪比水平和动态范围两个方面。

在存在单个干扰源的情况下，如果您使用过低的比特深度，则已记录的频谱会出现恶化。在真实世界中，GNSS 系统很可能在典型现场测试的过程中面对许多干扰源，这意味着真实的世界所处的环境比这些测试要严苛得多。

这些测试表明，根据您的测试要求和设备将面对的干扰类型，选择具备正确比特深度的 RPS 至关重要。如果无法以高保真度记录和回放真实的 RF 环境，就不可能正确地重现所需的真实信号，并可能对测试进程造成损害。