

# VNA频域转时域信号零时刻校准

## 1. 介绍

本文档描述了如何使用VNA频域转时域信号，并计算系统延迟以进行0时刻校准。并最后实现一个端到端的0时刻校准的快速部署。

### 1.1 VNA频域转时域信号

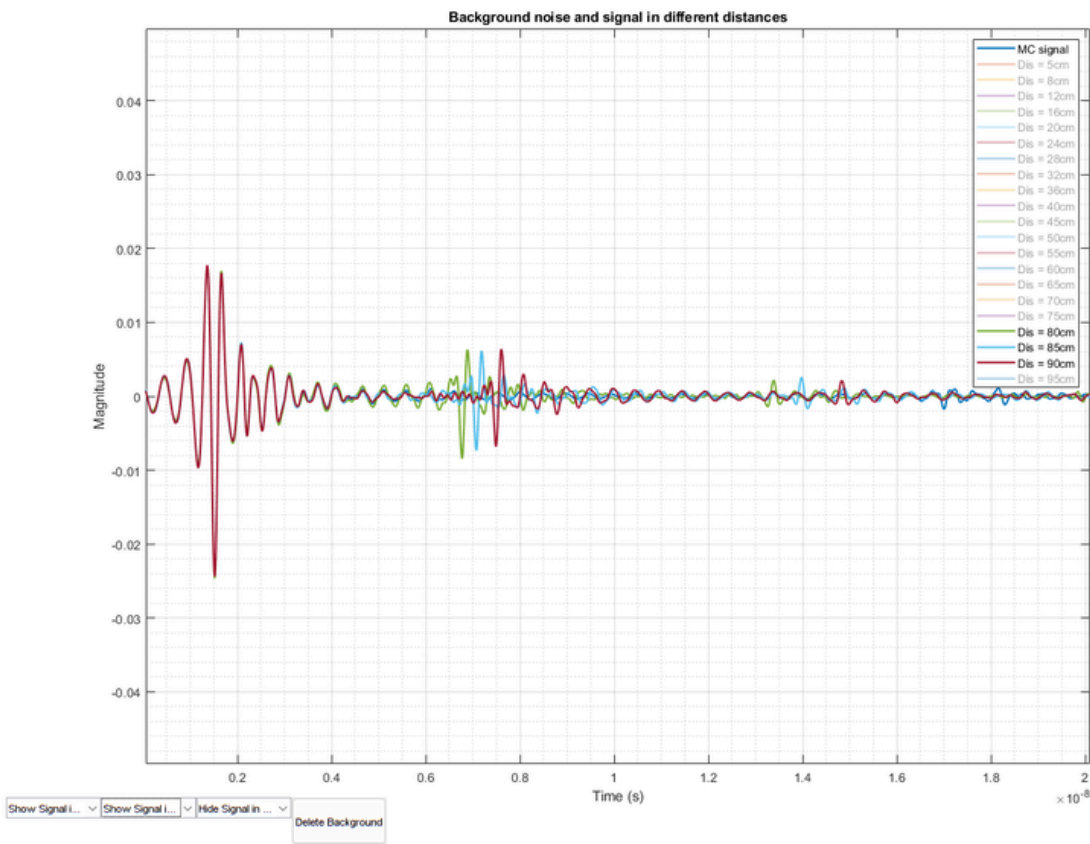
VNA测量的是频域信号，即S参数。S参数是频率的函数，即 $S(f)$ ，它由幅度 $\alpha$ 和相位 $\phi$ 组成。S参数可以通过傅里叶反变换转换的思想为时域信号，即 $s(t)$ 。其转换公式如下：

$$s(t) = \sum_{i=0}^{i_{max}} S(f_i) \times \cos(2\pi f_i t + \phi_i)$$

### 1.2 系统延迟的由来和反射信号在时域上的表现

在VNA测量时，由于各种因素，如电缆、连接器、滤波器等，会引入系统延迟。系统延迟会导致测量的信号在时间上产生偏移。为了消除这种偏移，需要进行0时刻校准。

VNA在进行空背景测量时，会得到互藕信号，我们成为 `mc_signal`，在VNA前面特定距离放置金属板，会得到反射信号，我称为不同距离下的 `signal`。对比 `mc_signal` 和 `signal`，我们可以观察到在信号中，什么时间发生了反射。如下图：



如下图，观察在距离80cm, 85cm, 90cm三个不同距离下的信号，我们可以清晰的看到反射信号在时间上的偏移。，还有其他部分信号的高度重叠。因此，我们可以测算出反射信号在时间出现的时间  $t_2$ ，这个时间是由信号飞行时间  $t_1$  和系统延迟  $t_0$  组成的。

$$t_2 = t_1 + t_0$$

## 1.3 数据来源

因此，通过计算我们所设置的23个不同距离板子下，VNA S参数转化而成的时域信号，我们可以得到由信号决定的  $t_2$ ，由距离决定的  $t_1$ ，并通过关系计算出  $t_0$ 。我们得到了这样的数据记录共23条，我们也将通过这23条数据记录，分析如何高效和准确地计算出系统延迟以进行0时刻校准。

## 2. 零时刻校准

### 2.1 零时刻校准方法

1. 将VNA测量的S参数转化为时域信号，并计算他们的  $t_2$ ， $t_1$ ， $t_0$ ，记录到表格中，如 ./signal/time.xlsx 所示
2. 将time.xlsx中的数据，当作 dataset，我们选择其中的一部分数据，作为 train\_set，得到它们的  $t_0$  计入  $t_0\_list$ ，然后通过  $t_0\_list$  构筑  $t_0\_range$ ：

```
# t0_precision = 100
t0_range = np.linspace(min(t0_list) * 0.95, max(t0_list) * 1.05, t0_precision)
```

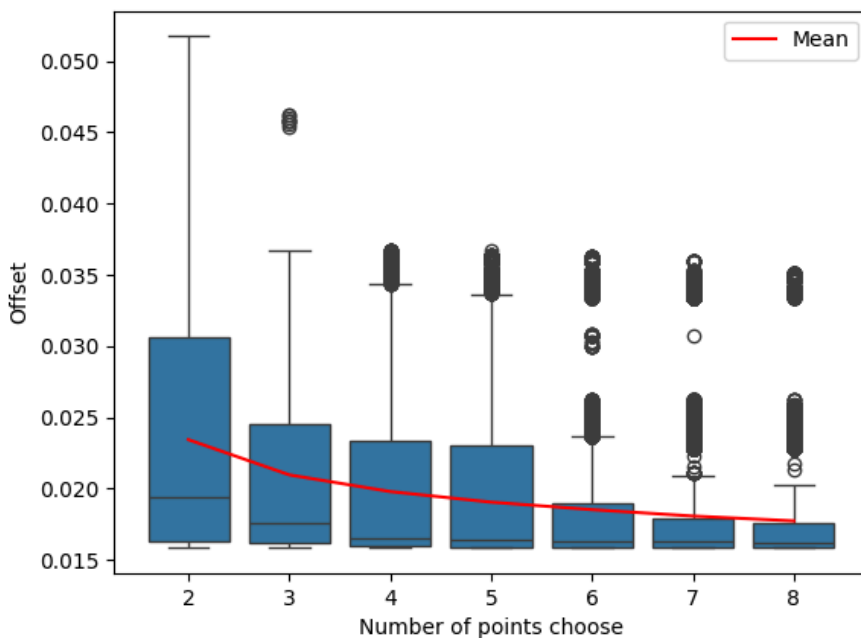
3. 我们会在 train\_set 上遍历  $t_0\_range$ ，得到每个  $t_0$  对应的 loss，然后选择 loss 最小的  $t_0$  作为最终的  $t_0$ 。其中，我们简单地以 train\_set 上计算得到的 offset 的平均值为loss，即：

$$loss = mean\left(\frac{Distance_{truth} - Distance_{predict}}{Distance_{truth}}\right)$$

4. 然后我们会计算该  $t_0$  在 dataset 上的 offset，并将其作为最终的 offset 参考。

### 2.2 至少需要多少个数据才可以进行0时刻校准

为了探究了至少需要多少个数据才可以有效进行0时刻校准，我们从我们的数据中，从选择2个到选择8个，求出选择不同数据量的所有可能性，即进行  $C_{23}^n$  组合，然后计算出每种组合的平均 offset。如下图：



我们可以看出，随着数据量选取的增大， `offset` 的平均值逐渐减小，箱型图逐渐变小，说明数据量越大，0时刻校准的效果的稳定性会越好；同时，我们可以看出，当数据量达到4个时， `offset` 的中位数已经几乎保持不变，平均值也下降缓慢。而且，通过查找最好的`offset`，在数据量为3时，我们对5cm, 70cm, 80cm这三个数据进行0时刻校准。

因此，在进行0时刻校准时，需要3个数据及以上可以有效和合理地进行0时刻校准，这三个距离数据可以反复测量得到，以保证0时刻校准的准确性。

### 3. 使用说明书

#### 3.1 数据准备

使用你的VNA，在其面前放置金属板，测量不同距离下的S参数，文件命名为 `n.csv`，其中n为距离，单位为cm。然后将这些文件放置到 `./bin/data` 文件夹下。再将金属板移开，测量背景噪声，互藕信号，文件命名为 `MC.csv`，并放置到 `./bin/data` 文件夹下。

数据量至少要在3个以上，以保证0时刻校准的准确性。同时，数据量越多，0时刻校准的效果越稳定。本文档推荐为5个数据为最好的trade off。而且数据之间要有一定的距离差异为优。

以下为推荐的距离：  
10cm, 20cm, 40cm, 60cm, 80cm

本仓库支持任意合理距离的部署。

#### 3.2 准备环境

准备python环境，需要的依赖包：

```
pandas
numpy
seaborn
matplotlib
rich
```

#### 3.3 运行

运行 `./bin/main.py`，即可得到0时刻校准的结果，输出结果在 `./bin/t.csv`