

过程参数检测作业

林嘉成 2016011498

(自动化系 自 66)

(1) 对信号 s_{12} 进行采样，采用 Matlab 画出采样频率 f_s 为 1GHz 下 s_{12} 波形如下。

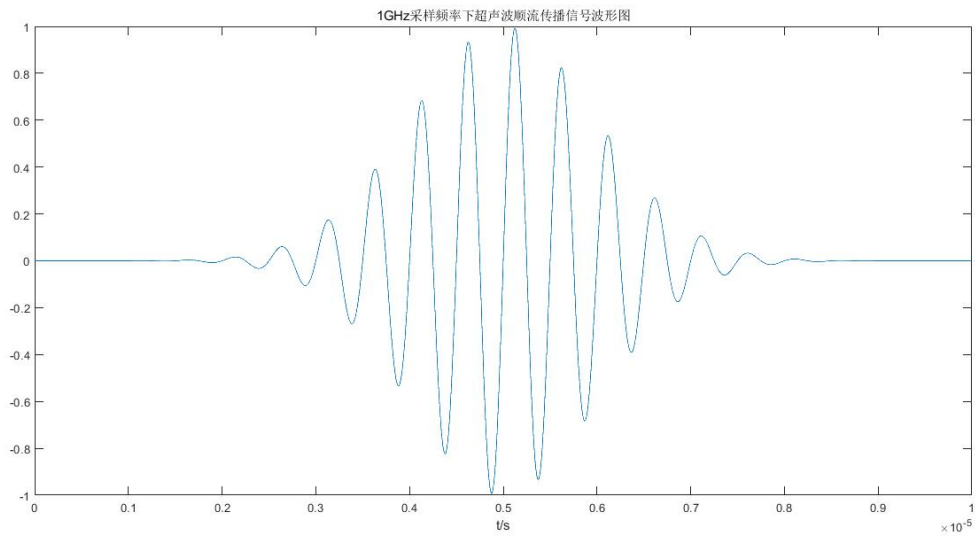


图 1: 1GHz 采样频率下超声波顺流传播信号波形图

(2) 信号采样频率 f_s 为 1GHz，采用 Matlab 在同一张图上给出顺流信号 s_{12} 及时差 Δt 分别为 205ns、210ns、215ns 下逆流信号 s_{21} 波形如下。

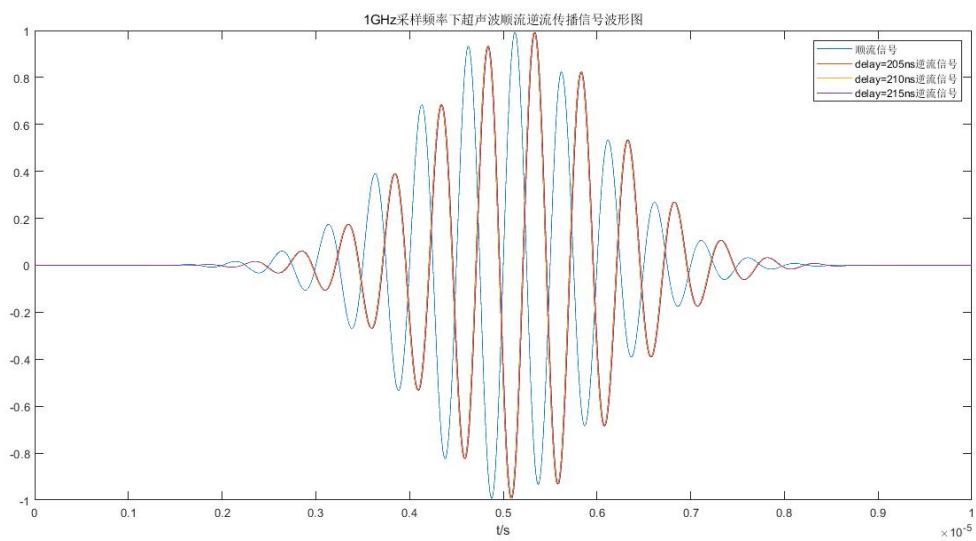


图 2: 1GHz 采样频率下超声波顺流逆流传播信号波形图

逆流信号部分放大如下。

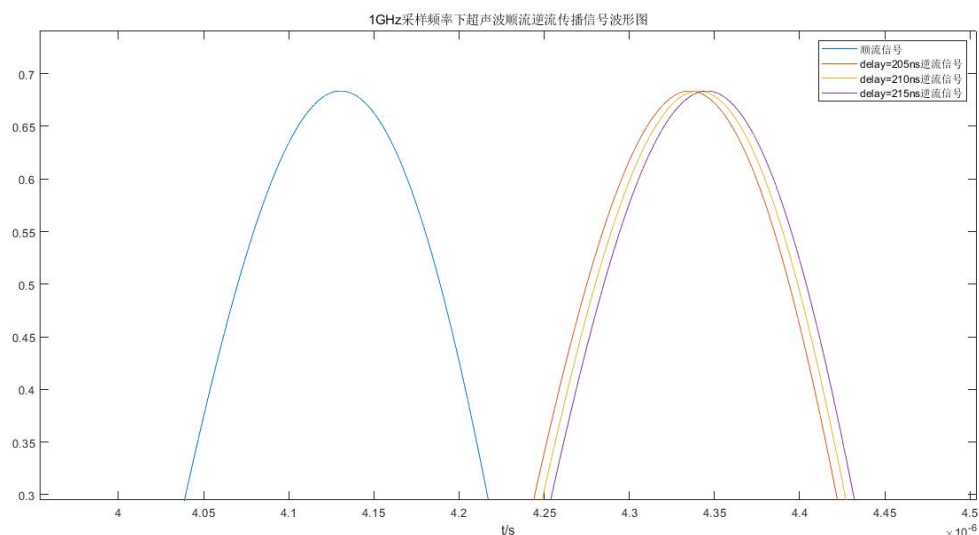


图 3: 1GHz 采样频率下超声波顺流逆流传播信号波形图（部分放大）

(3) 使用相关估计法估计 s_{12} 与 s_{21} 之间的时差，得到如下波形

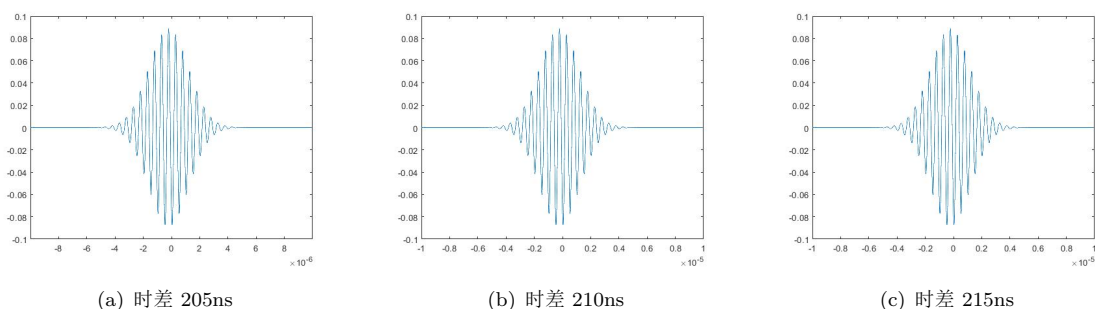


图 4: 顺流信号与不同时差的逆流信号相关波形

则选取最大值，则得到估计的时差分别为 205ns、210ns、215ns，与实际完全相符。

(4) 分为两种情况进行实验。

顺流及逆流信号噪声强度相同 在产生的顺流及逆流信号上加入不同强度的噪声（顺流及逆流信号附加的噪声强度相同），每个强度做 100 次实验，得到平均时差估计结果如下。

表 1: 不同噪声强度下平均时差估计结果			
噪声方差	时差 1(ns)	时差 2(ns)	时差 3(ns)
0.005	205.23	210.06	215.10
0.01	205.18	209.79	215.06
0.1	205.29	210.06	216.67
0.5	186.15	209.44	228.36
0.8	154.88	214.51	174.63
1.0	193.74	186.62	173.54
5.0	130.32	213.54	557.90

表 2: 不同噪声强度下时差估计结果误差标准差			
噪声方差	时差 1(ns)	时差 2(ns)	时差 3(ns)
0.005	1.456	1.4691	1.3170
0.01	2.1792	2.1189	1.8241
0.1	5.6397	5.2234	5.6859
0.5	149.66	113.95	146.46
0.8	235.75	267.73	205.26
1.0	250.35	280.98	247.97
5.0	529.42	627.85	627.46

由实验表格可以看出，在顺流及逆流信号附加的噪声强度相同的情况下，噪声强度越大（即噪声方差越大），则所估计出的结果据里真实值偏差越大。

顺流及逆流信号噪声强度不同 如果顺流信号和逆流信号附加的噪声不同时，则同样每组噪声强度做 100 次实验，得到平均时差估计结果如下。

表 3: 不同噪声强度下平均时差估计结果				
顺流噪声方差	逆流噪声方差	时差 1(ns)	时差 2(ns)	时差 3(ns)
0.1	5	148.65	226.88	178.18
0.1	0.5	206.01	210.27	216.06
0.1	0.05	205.23	210.08	214.70
0.1	0.005	204.62	210.42	214.33
1	0.005	205.23	209.17	214.30
1	0.5	162.44	214.76	210.62
1	5	193.53	108.55	183.46

由实验结果可以看出，顺流或逆流只要有一个噪声强度较小，则时差的估计结果可能与真实结果很接近，但也存在某一信号噪声强度过大导致另一信号即使噪声强度较小，但估计的结果与实际也会有较大偏差的情况。且观察实验数据，噪声强度越大，预测误差的方差越大，且误差方差越大。

(5) 采样频率为 50MHz，则得到超声波顺流传播信号波形图如下

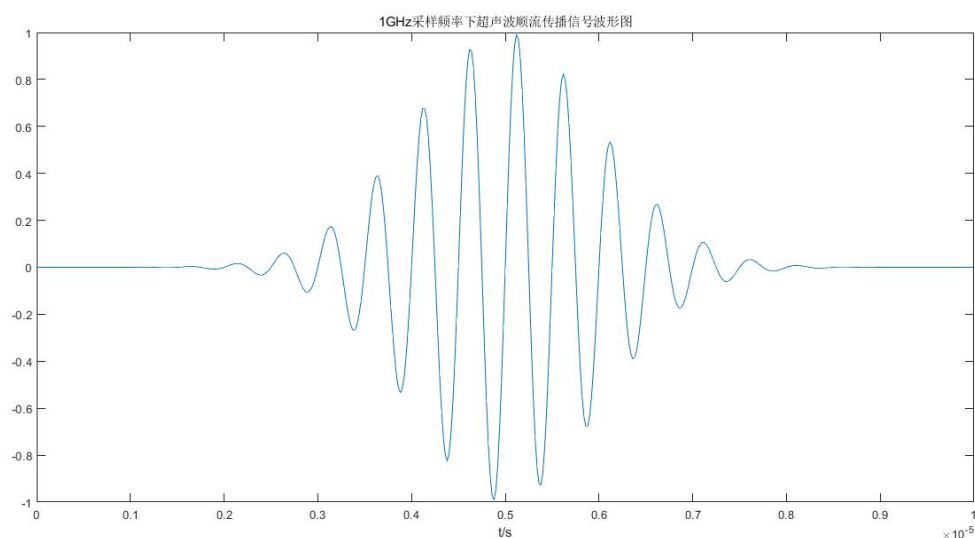


图 5: 50MHz 采样频率下超声波顺流传播信号波形图

采用 Matlab 在同一张图上给出顺流信号 s_{12} 及时差 Δt 分别为 205ns、210ns、215ns 下逆流信号 s_{21} 波形如下。

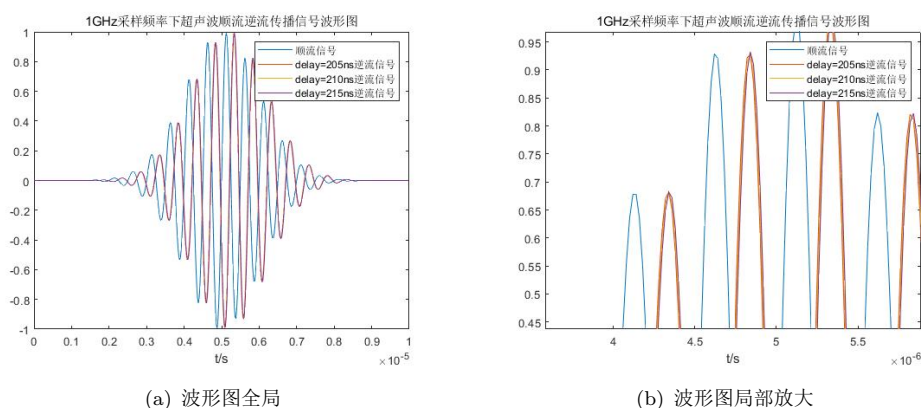


图 6: 50Hz 采样频率下超声波顺流逆流传播信号波形图

观察局部放大后的波形，很明显看出采样率降低所带来的效果。且若使用其进行时差估计，则结果均为 200ns，与实际相差很多，这是由于采样频率降低且时差不等于 20ns 的整数倍所导致的。

获得更准确的时差估计的算法 为了获得更准确的时差估计，考虑将数据进行插值，使得采样点数与采样率为 1GHz 时的相同。使用 Matlab 的 interp 函数进行插值及低通滤波。其参数 l 为插值滤波器长度， α 为滤波器的截止频率，其中 $\alpha \in [0, 1]$ 。选取 $l = 4, \alpha = 0.4$ ，则在无噪声情况下，得到插值后的顺流信号波形如下。

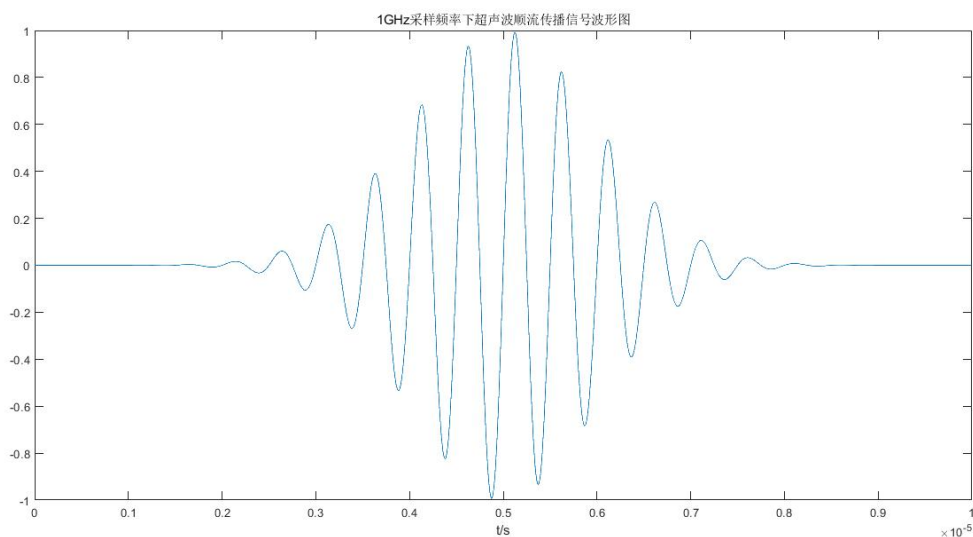


图 7: 50MHz 采样频率下超声波顺流传播信号波形图（插值后）

则在插值后，使用相关估计法估计时差，分别为 205.00ns、210.00ns、215.00ns，误差标准差数量级为 $10e - 22$ ，即估计结果与实际几乎完全相同。

当加入噪声时，只考虑顺流和逆流噪声标准差相同的情况，可以得到结果如下。

表 4: 不同噪声强度下平均时差估计结果

噪声方差	时差 1(ns)	时差 2(ns)	时差 3(ns)
0.005	205.13	210.16	215.03
0.01	204.95	210.07	213.72
0.1	184.06	208.16	226.29
0.5	196.26	171.48	198.12

表 5: 不同噪声强度下时差估计结果误差标准差

噪声方差	时差 1(ns)	时差 2(ns)	时差 3(ns)
0.005	1.5916	1.3544	1.5713
0.01	2.3125	2.9026	2.9498
0.1	252.22	290.81	221.58
0.5	557.26	542.34	545.33

由上表可以看出,当噪声强度较小时,该方法估计值与实际值非常接近。但是当噪声增大后,估计值与实际值偏差较大。即使用插值对噪声强度的依赖特别大,这也是显而易见的。

(6) 目前常见的 TDC 方法包括抽头延迟线法、游标法及电容充放电法等¹。

直接计数法 通过时钟信号对要计量的时间范围进行采样计数,根据计数值来计算时间值,这种方法就是直接计数法,其时间计量的最小分辨率是用于计数的时钟周期。但由于超高频时钟信号的生成与稳定传输比较困难,所以直接计数法很难实现 ps 级的精密测量。

基于抽头延迟线法的时间测量 抽头延迟线法的原理是使被测量的开始信号通过延迟线进行传输,通过抽头信号探测它在被测量时间段内传递到的位置,从而判断时间测量的结果。相邻抽头之间的信号延迟时间就是测量的最小分辨率。在电路中实现时,延迟线一般是通过延迟单元构成的,测量的分辨率即为延迟单元的延迟时间;而在集成电路中,通常采用的电路单元是反相器。目前常用的集成电路工艺条件下延迟时间大约在 10 到 100ps 量级。

基于游标法的时间测量 使用两条延迟线,其中单元的延迟时间分别为 τ_1 和 τ_2 , τ_1 和 τ_2 之间有微小但固定的延迟差别,通过这两条延迟线分别对开始信号与结束信号进行传递,检测开始与结束信号在传递过程中重合的时刻,通过重合点的位置即可得到开始与结束之间的时间差。游标法能够实现比抽头延迟线法更高的测量分辨率,前提是保证用于测量的两条延迟线中的单元有稳定的延迟,通常使用 PLL 或 DLL 来产生具有稳定延迟的延迟线来达到这个目标。

基于电容充放电法的时间测量 基于电容充放电法的时间测量时利用恒流源在被测量时间段内对一个电容充电,之后的处理方法分为两种:一种测量方法是利用两个恒流源,其中一个用于电容充电,另一个用于电容放电但是比充电恒流源小得多,开始测量时在被测时间段内用充电恒流源对电容进行充电,然后用放电恒流源对刚进行充电的电容进行放电,充电电流和放电电流的比值决定了充电时间与放电时间的比值,通过这种方法时间被测时间段的放大。经过放大的时间可以采用分辨率更低也更容易实现的方法进行计量。这种测量方法的分辨率由充放电恒流源的精度、电流大小的比值和用于放电结束判断的电压比较器精度共同决定。另一种测量方法是在被测时间段内完成电容充电后,直接使用 ADC 对电容上的电压值进行转换,根据转换结果即可计算出充电的时间。它的原理如图 4 所示。与前面通过放电实现时间放大的方法相比,这种方法可以完成更高速的测量。它的测量精度由充电恒流源和 ADC 的精度决定。

¹资料来源: <http://m.elecfans.com/article/596600.html>

基于时间间隔放大电路的时间测量 通过采用时间间隔放大电路来完成时间的放大，从而实现精确时间测量。通过放大电路，可以把一个微小的时间间隔信号放大成一个比较容易测量的信号，从而提高测量的精度。