

实验报告

(实验五 数字通信中的码元同步)

班级：通信 2 班

姓名：杨承翰

学号：210210226

课程名称：通信原理

指导教师：高林

日期：12.3

实验五 数字通信中的码元同步

一、实验目的

理解码元同步的基本原理和实现方法。

二、实验预习

了解码元同步的基本原理，以及两种实现码元同步的常用方法：最大能量法和前后门算法。

码元同步是数字通信中的一个重要环节，其基本原理是确保接收端能够准确地识别和定时采样接收到的信号，以正确解调和译码数据。在数字通信系统中，数据通常以一系列的码元（通常是脉冲或符号）的形式进行传输，而码元同步则是为了确保接收端能够正确地对这些码元进行采样和解调。

最大能量法是一种常用的实现码元同步的方法，其基本原理是通过检测信号中的能量峰值来确定最佳的采样时刻。接收到的信号会经过一个滤波器或相关器，然后计算在不同时刻的信号能量。最大能量法会选择能量最大的时刻作为采样点，从而实现码元同步。

另一种常用的码元同步方法是前后门算法（Early-Late Gate Algorithm）。该算法将接收到的信号分别延迟一个较短的时间和一個较长的时间，然后分别对这两路信号进行采样并计算它们的相关性。通过比较这两路信号的相关性，可以确定最佳的采样时刻，并进行相应的调整，从而实现码元同步。

总体来说，码元同步的基本原理是确保接收端能够准确地识别和定时采样接收到的信号。最大能量法和前后门算法是实现码元同步的两种常用方法，它们分别通过检测信号能量峰值和比较不同延迟信号的相关性来实现码元同步。这些方法都有助于确保接收端能够准确地对接收到的信号进行解调和译码。

三、实验内容

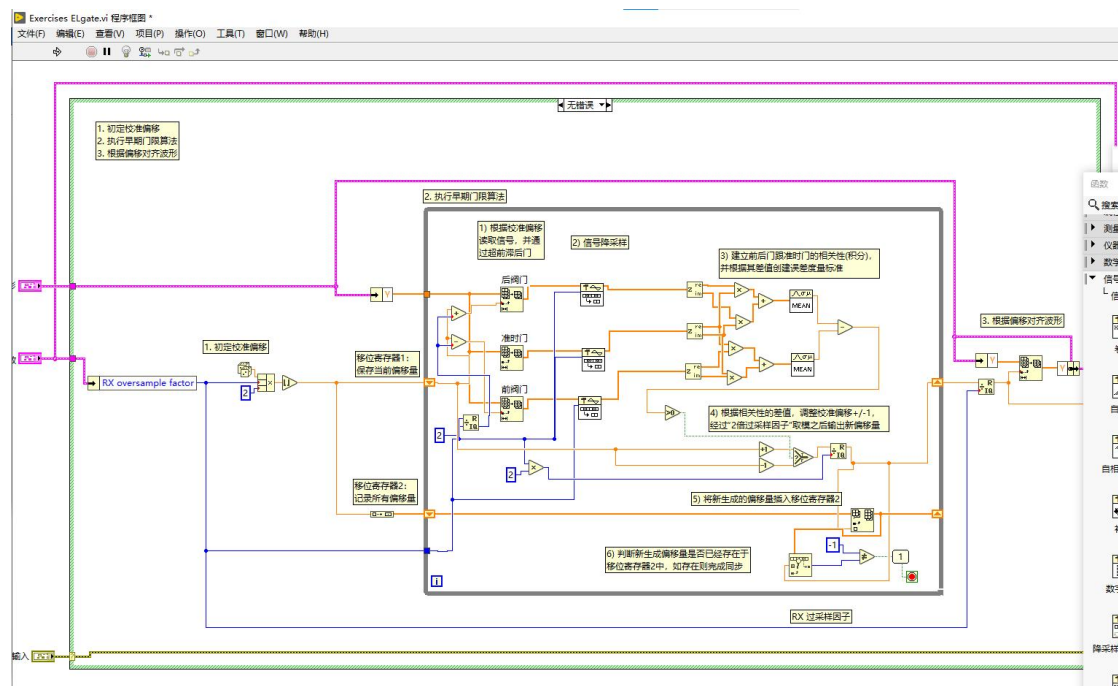
本实验包含发送端和接收端两个主程序。发送端主程序的前面板如实验指导书中图 5.1 所示，首先是 USRP 的基本参数设置，包括 IP 地址、载波频率、采样率等；接下来是信道设置，包括信道模型和噪声能量等；然后是调制设置，包括调制类型和脉冲成形的相关参数；最后是调制后的星座图、眼图和 IQ 波形。接收端主程序的前面板如实验指导书中图 5.2 所示，开始的设置与发送端基本

相同，在解调显示部分是接收解调后的文本以及它的星座图、眼图、IQ 波形和误码率曲线。可以通过这些来判断程序是否正确。

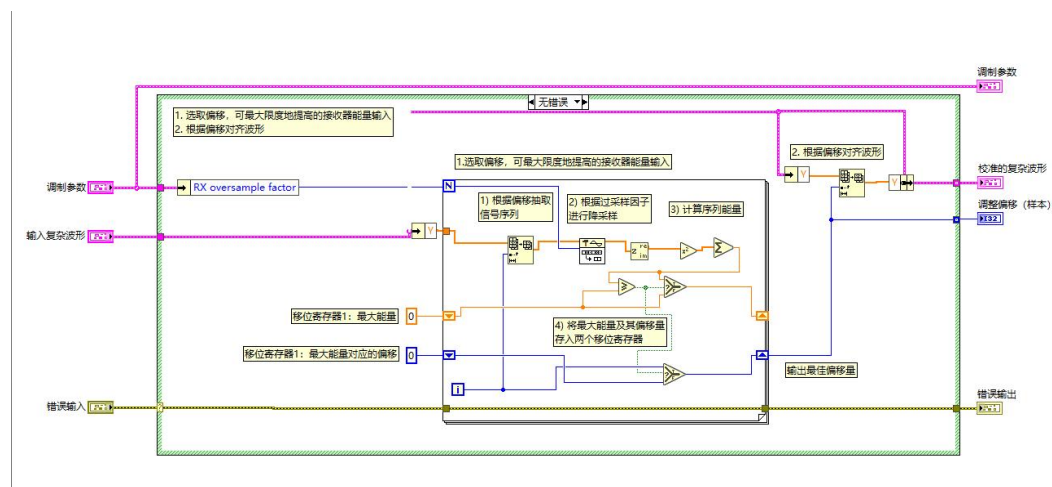
在本次实验中，需要完成 **Exercises Max Energy.vi** 和 **Exercises ELgate.vi** 两个子程序，并打开发送和接收主程序，查看同步效果。完成实验后，需要提交上述子程序，并完成实验报告。

四、实验任务

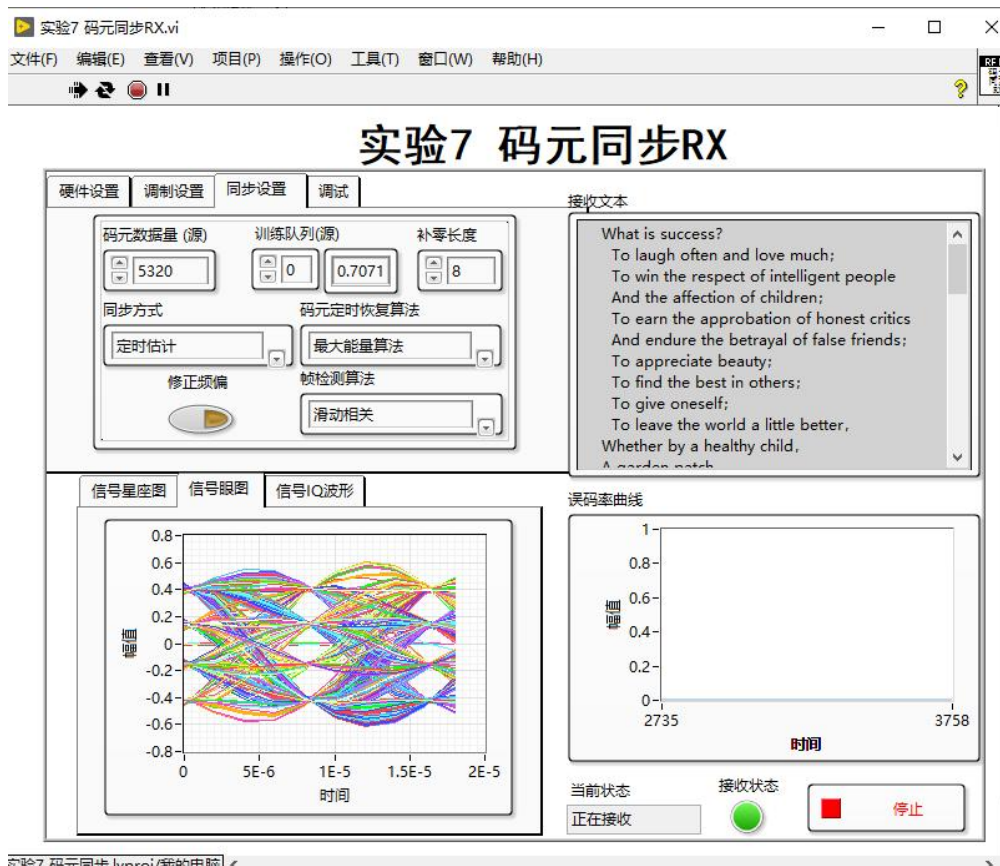
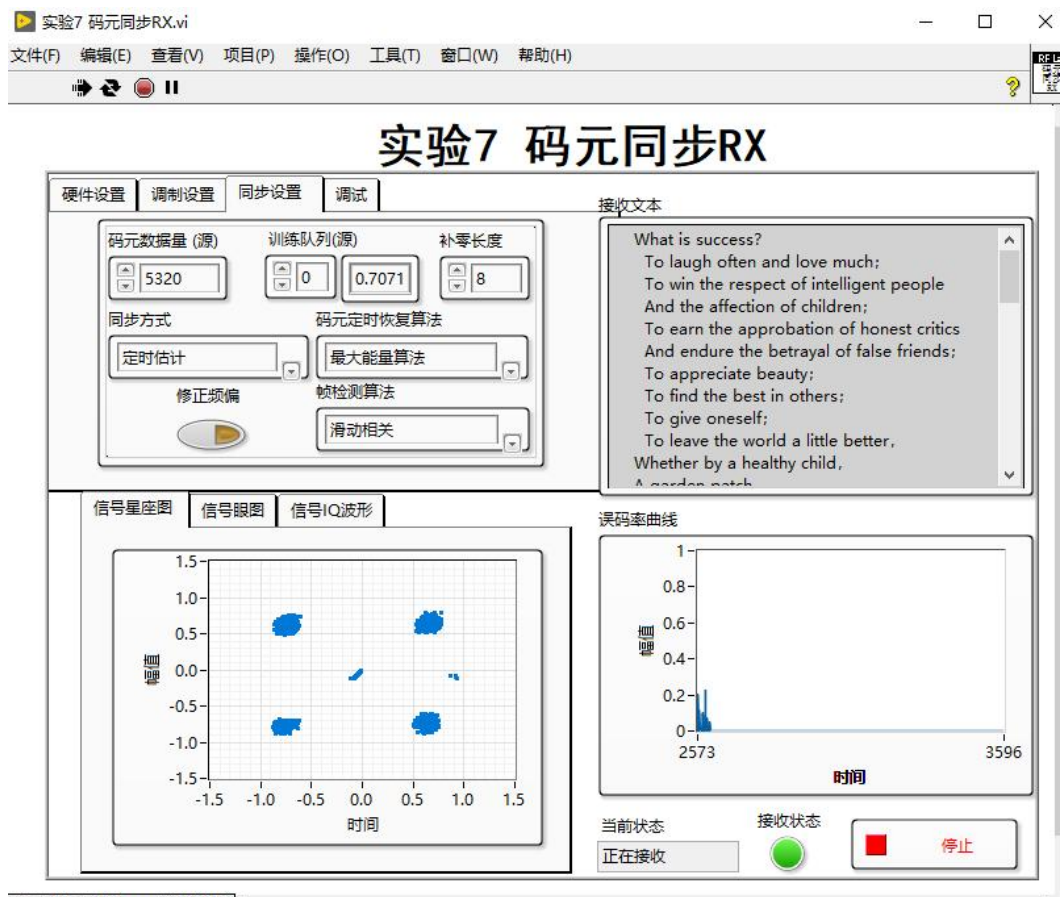
3.1 完成 Exercises ELgate.vi 的完整设计图

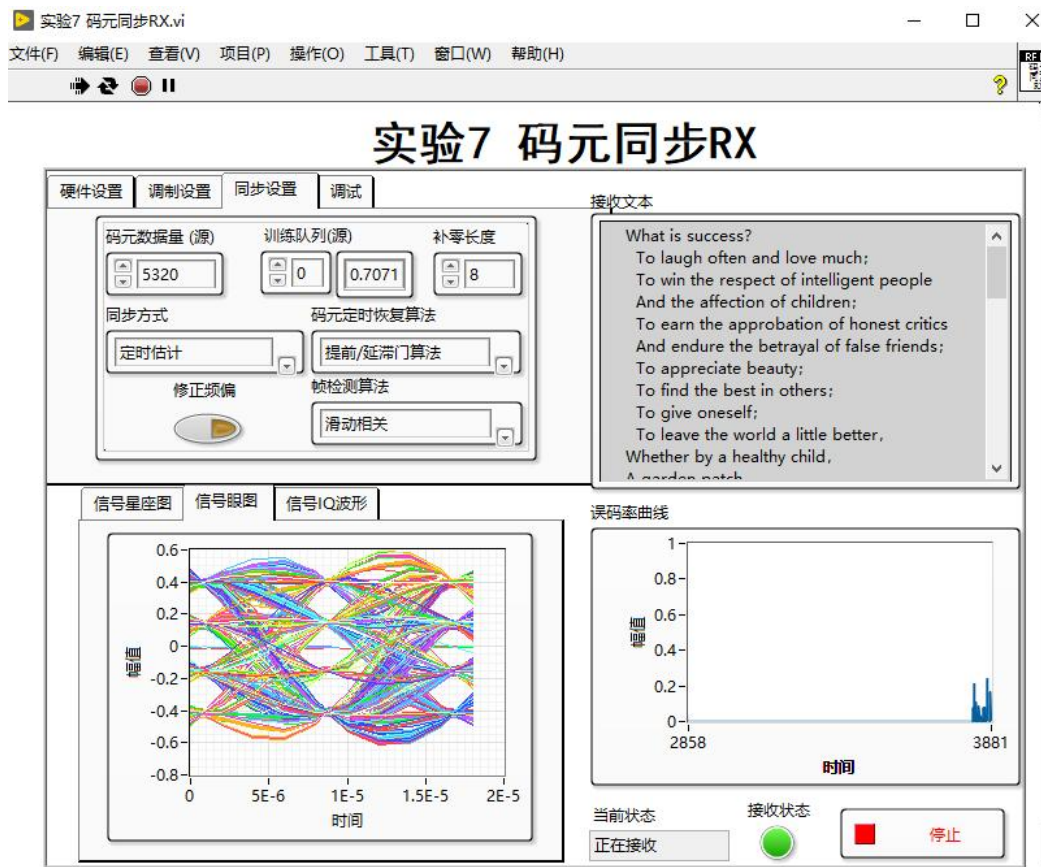
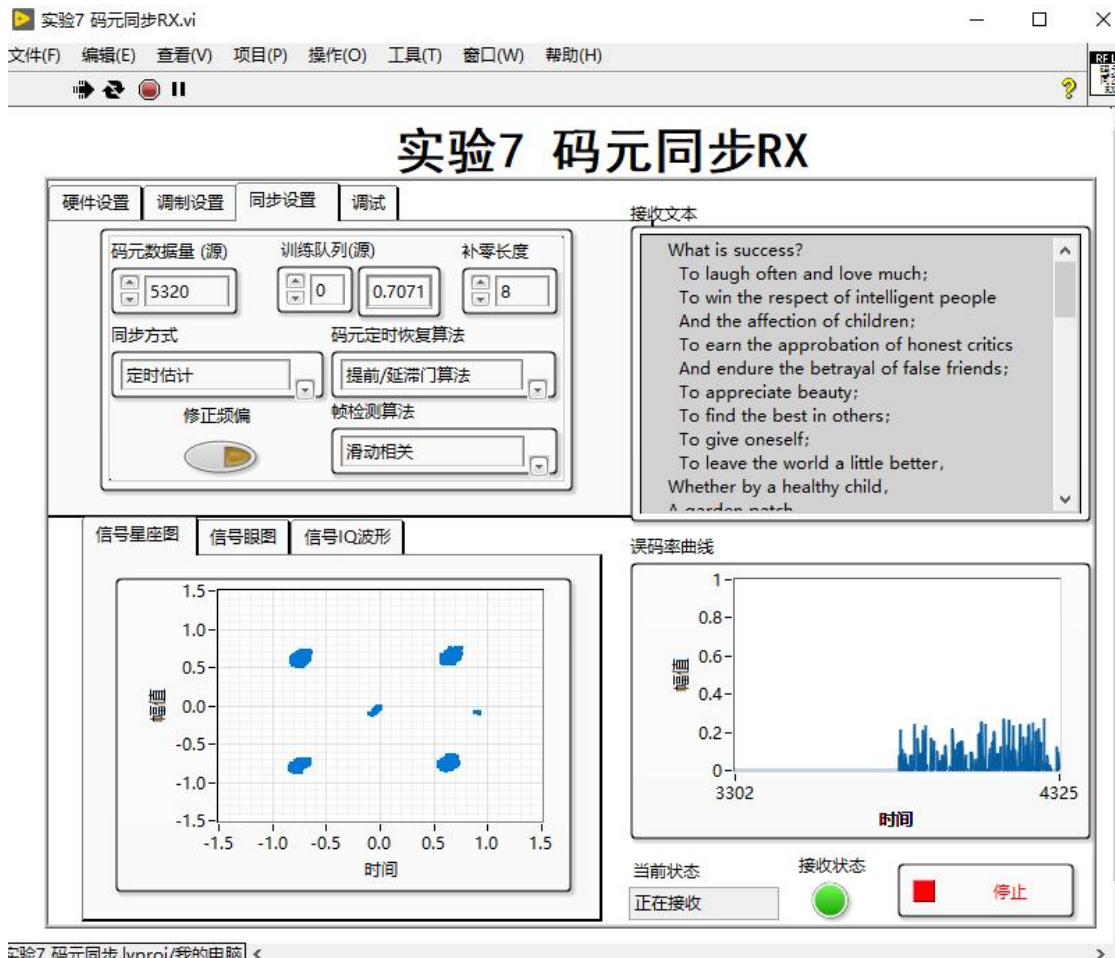


3.2 完成 Exercises Max Energy.vi 的完整设计图



3.3 配置 USRP 参数，运行主程序，记录并分析结果。





可以看出，通过使用最大能量算法，能够解调出发射端的文本信息，而且误码率极低接近于 0，眼图清晰、眼睛大，星座图集中、清楚，所以最大能量算法是十分有效的码元同步算法。

通过使用提前/延滞门算法，也能解调出发射端的文本信息，但是误码率相较于最大能量算法较大，眼图也更加混乱，眼睛更小，星座图没有那么集中。提前/延滞门算法也能作为码元同步的算法。

这是因为在我们的算法中，提前/延滞门算法仅仅进行了 1 次就停止了，没有后来的校正，而最大能量算法一直在循环，所以误差更小。

五、 扩展问题

1、演示在没有噪声时，公式

$$z(t)=\alpha e^{j\phi}\sqrt{E_x}\sum_m s[m]g_{tx}(t-mT-\tau_d)+v(t) \quad (5.15)$$

中的 α 和 ϕ 没有对输出能量最大化解产生任何影响。

在码元同步实验中，公式 $z(t) = \alpha e^{j\psi} \sqrt{E} \sum s[m] g(t-mT-\tau_d) + v(t)$ 表示接收端的信号，其中 α 和 ψ 是常数， E 代表期望操作符， $\sum s[m]$ 表示码元序列， $g(t-mT-\tau_d)$ 是匹配滤波器， $v(t)$ 是噪声。

假设没有噪声，即 $v(t)=0$ ，那么公式可以简化为：

$$z(t) = \alpha e^{j\psi} \sqrt{E} \sum s[m] g(t-mT-\tau_d)$$

我们可以看出， α 和 ψ 只是常数，它们并不与码元序列 $s[m]$ 和滤波器 $g(t-mT-\tau_d)$ 有关系。 α 和 ψ 只会影响接收到的信号的振幅和相位，因此，它们不会对输出能量最大化解产生任何影响。

因为码元同步实验中的目标是找到合适的滞后时间 τ_d ，使得接收到的信号中各个码元之间的边界能够对应到正确的时间点上。因此，我们通常会利用匹配滤波器对接收到的信号进行相关运算，以找到每个码元的位置。滤波器的选择和参数的调整对于码元同步过程中的性能很重要。

2、 在对一个以 $1/T$ 速率采样的序列进行以 M 为因子的降采样后，所产生的信号样本周期是多少？

在对一个以 $1/T$ 速率采样的序列进行以 M 为因子的降采样后，所产生的信号样本周期是 MT 。降采样意味着我们从输入信号中每隔 M 个样本取一个样本。这将导致输出信号的采样率降低到原来的 $1/M$ ，因此每个输出样本对应于 M 个输入样本。因此，输出样本的时间间隔（即样本周期）为 MT 。

六、 总结和实验心得

本实验让我收获很大，动手能力增强的同时理论基础更加扎实，在此次实验中，我加深了对于通信原理知识的理解，而且锻炼了我的实验思维，可以拓展课本之外的能力，让自己不仅仅依靠书本上的知识发展自己的认知，我认为本课程极具教育意义。