《通信与网络》实验五

BSC信道编码实验

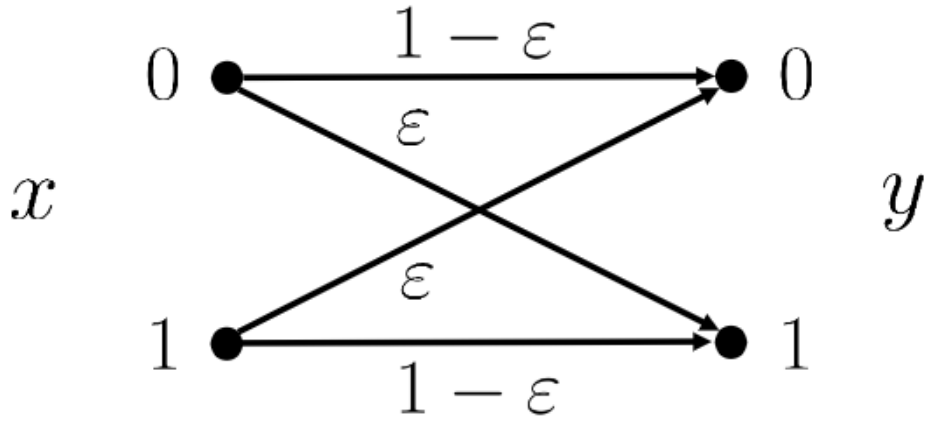
2022年11月

目录

- 信道编码回顾
- Simulink及基本操作方法介绍
- 实验内容和流程

一、信道编码回顾

对称二元信道(BSC)



二元：输入、输出均为二元量（符号,0或1）

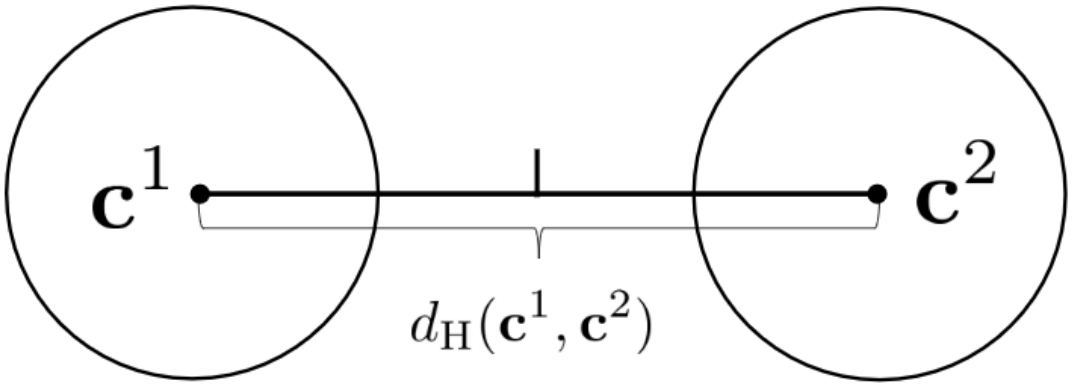
对称：“0”错成“1”的概率=“1”错成“0”的概率

差错概率：$\varepsilon = \Pr\{y=1|x=0\}$

$= \Pr\{y=0|x=1\}$

前向纠错编码(FEC)

- 适用于无反馈的信道，具有高实时性
- 最小Hamming距离判决 $\arg\min_{\hat{\mathbf{c}}\in\mathcal{X}} d_H(\mathbf{r},\hat{\mathbf{c}})$



显然，只要不超过k个差错（差错位$\leq k$）就一定不会错判，此时纠错能力为 $k=\frac{d_{\mathrm{H}}(\mathbf{c}^1,\mathbf{c}^2)-1}{2}$个bit

前向纠错编码(FEC)

- 最小Hamming距离判决 $\arg\min_{\hat{\mathbf{c}}\in\mathcal{X}} d_H(\mathbf{r},\hat{\mathbf{c}})$
- 码字集合的最小Hamming码距

$$d_{\mathrm{H}}^{min}=\min_{\mathbf{c}^i,\mathbf{c}^j\in\mathcal{X}} d_{\mathrm{H}}\left(\mathbf{c}^i,\mathbf{c}^j\right)$$

对任给的码字$\mathbf{c}^i\in\mathcal{X}$只要差错不超过$\left\lfloor\frac{d_{\mathrm{H}}^{min}-1}{2}\right\rfloor$位，则一定能纠错（正确判决）

- 最小Hamming码距=3, 4 ⟹ 可纠错1位
- 最小Hamming码距=5, 6 ⟹ 可纠错2位

重复码(Repetition Code)

- (n, 1) 重复码：重复消息n次 $d_{\mathrm{H}}^{\min} = n$
- 消息 … 0 1 0 …
- 编码结果 … 0 … 0 1 … 1 0 … 0 …

  n个 n个 n个
- 译码
  - 最小Hamming距离判决：比较接收到0和1的个数
- 易于实现，但编码效率很低

Hamming码(Hamming Code)

- (n,k) Hamming码 $d_{\mathrm{H}}^{\min}=3$
  - 满足 $k=2^m-m-1, n=2^m-1, m\geq 3$

m	k	n	$R=k/n$
3	4	7	0.57
4	11	15	0.73
5	26	31	0.84
6	57	63	0.90
7	120	127	0.94
8	247	255	0.97
9	502	511	0.98
10	1013	1023	0.99

- 有效利用了最小码距，最大化纠错能力，效率高

Hamming码(Hamming Code)

- 例：(7,4) Hamming码

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{G} = [\mathbf{I}; \tilde{\mathbf{H}}^T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- 消息： $\mathbf{d} = [0, 0, 1, 0]$
- 编码： $\mathbf{c} = \mathbf{dG} = [0, 0, 1, 0, 1, 0, 1]$
- 信道： $\mathbf{e} = [1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]$
- 接收： $\mathbf{r} = \mathbf{c} + \mathbf{e}$

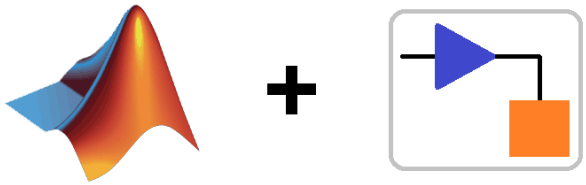
  $= [1, 0, 1, 0, 1, 0, 1]$
- 解码： $\mathbf{s} = \mathbf{rH}^T$

  $= [1, 1, 1] = \mathbf{h}_1^T \longrightarrow$ 标识第一位错

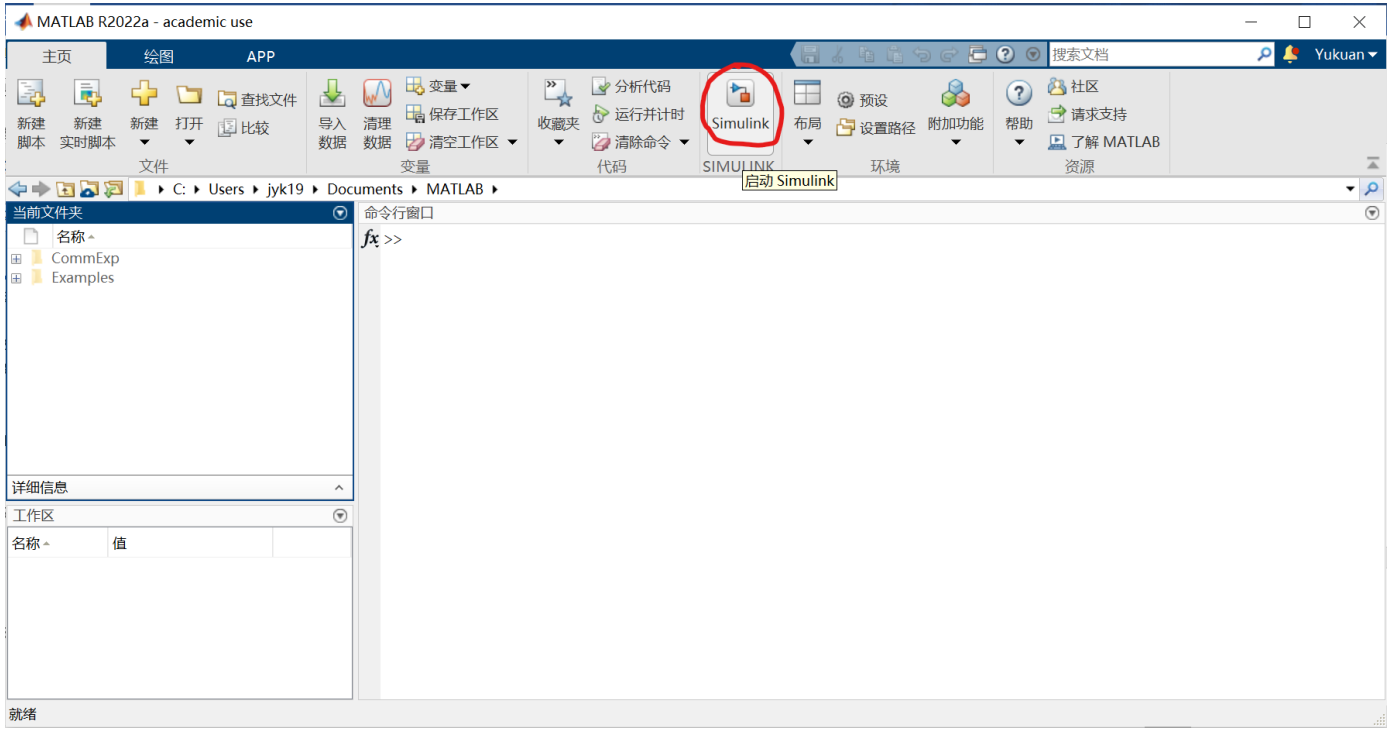
二、Simulink及基本操作方法介绍

实验环境

- **Matlab 2022a + Simulink**
  - Communications Toolbox
  - DSP System Toolbox

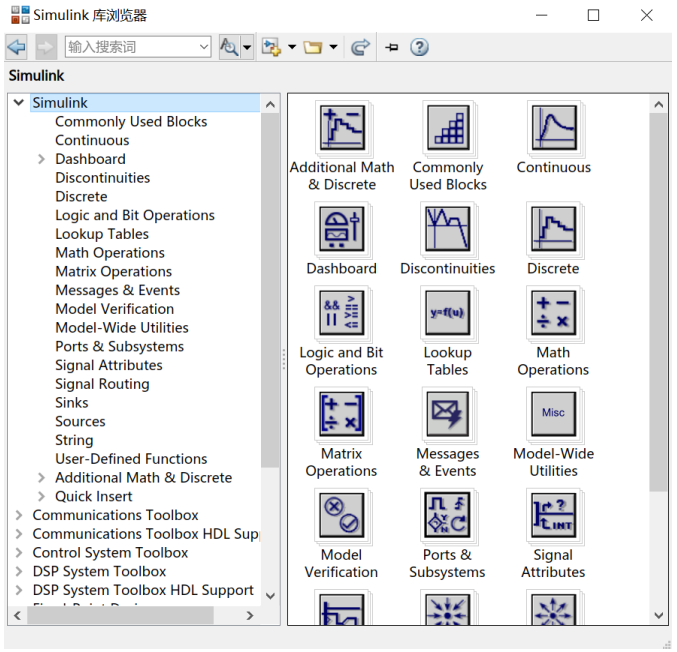


MATLAB
SIMULINK®



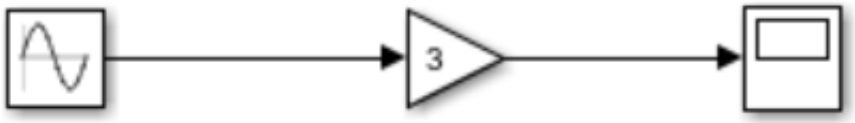
Simulink基本介绍

- **模块：基本建模结构**
  - 可以从内置的 Simulink 库中添加模块以执行特定操作，也可以创建自定义模块。
  - 模块之间的连接接口称为端口。
  - 模块从输入端口接受信号，执行运算，并在输出端口输出信号。



Simulink基本介绍

- **信号线：连接模块，使数据在模块间传输**
  - 信号：是随时间变化的量，在所有时间点（连续）或指定的时间点（离散）都有对应的值。
  - 信号线连接模块端口，信号从模块的输出端口流向另一个模块的输入端口。常见的信号是数值或矢量。

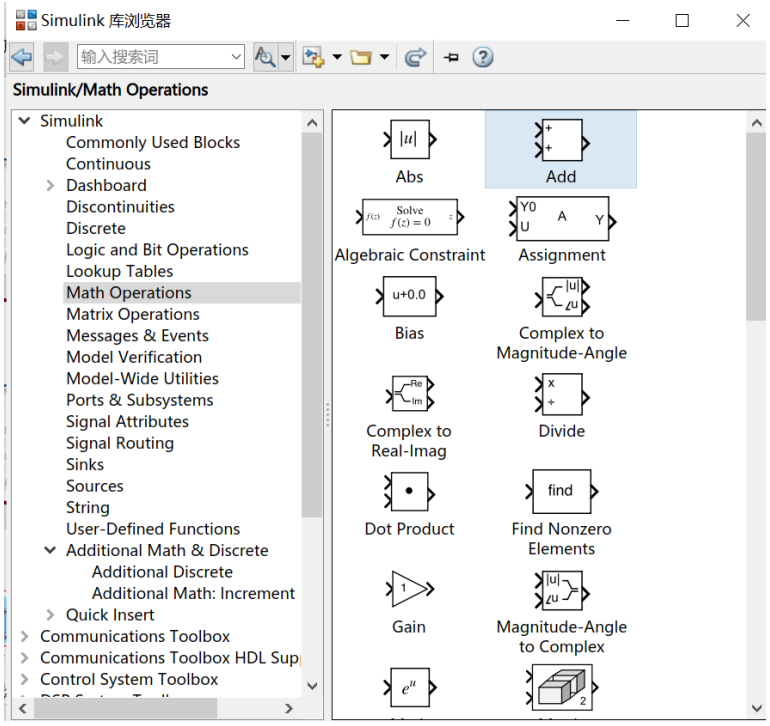


Simulink操作方法

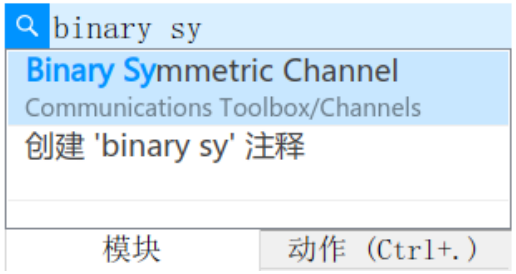
- 新建模型

Simulink操作方法

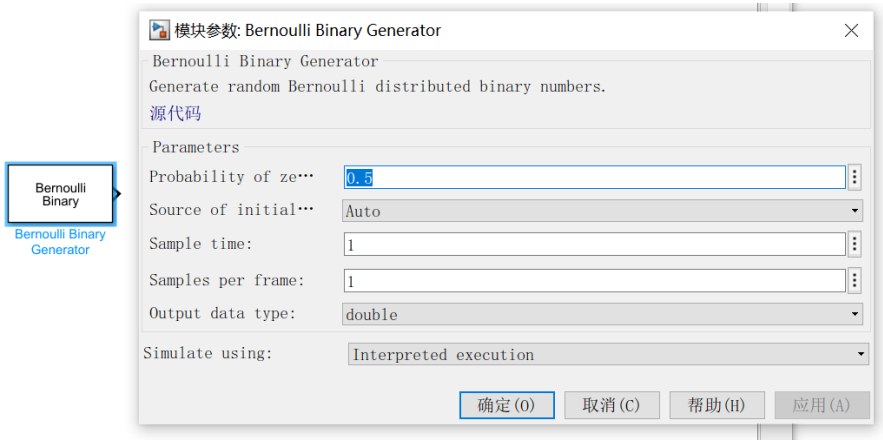
- **添加模块**
  - 从库浏览器拖入



- 双击空白处搜索

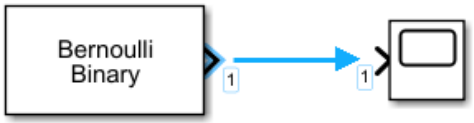


- 双击模块修改其属性

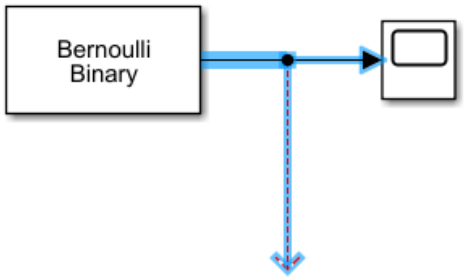


Simulink操作方法

- **添加信号线**
  - 点击一个端口，所有合适的连接都将突出显示，点击第二个端口以创建连接



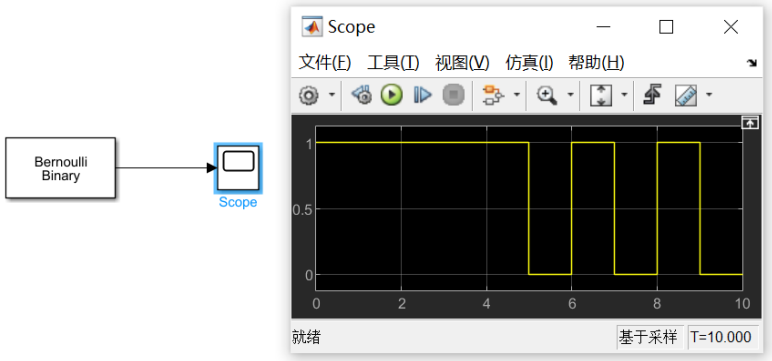
  - 另一种方式是点击端口并拖动到第二个端口
  - 按住Ctrl可以从信号线上创建连接分支



Simulink操作方法

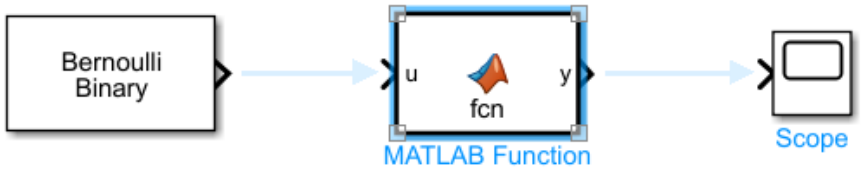
- 运行仿真

- 观察信号
  - 在模型中加入Simulink-Sinks-Scope模块（示波器），连接到想要观察的信号，运行仿真后双击Scope即可观察信号。



Simulink操作方法

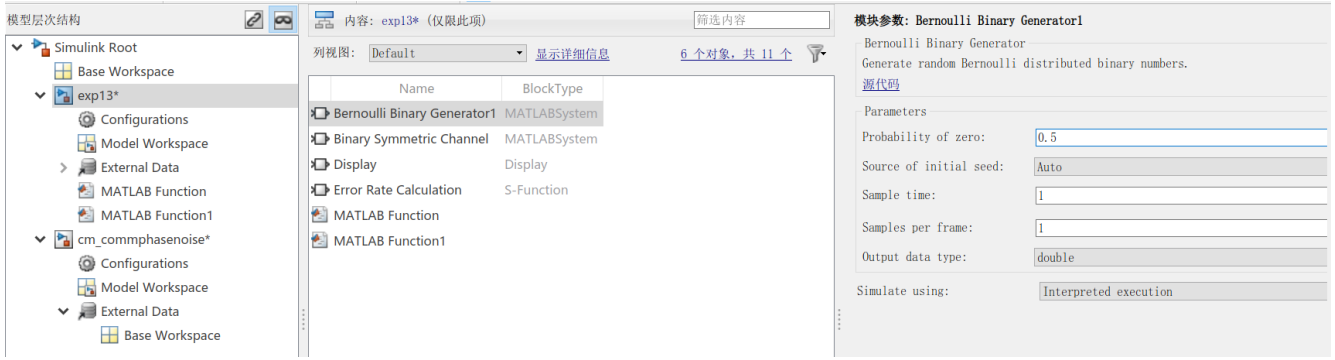
- **嵌入自定义Matlab函数**
  - 在模型中加入Simulink-User Defined Functions-Matlab Function，双击模块即可编辑编写Matlab函数来自定义模块。



Simulink操作方法

- **模型资源管理器**

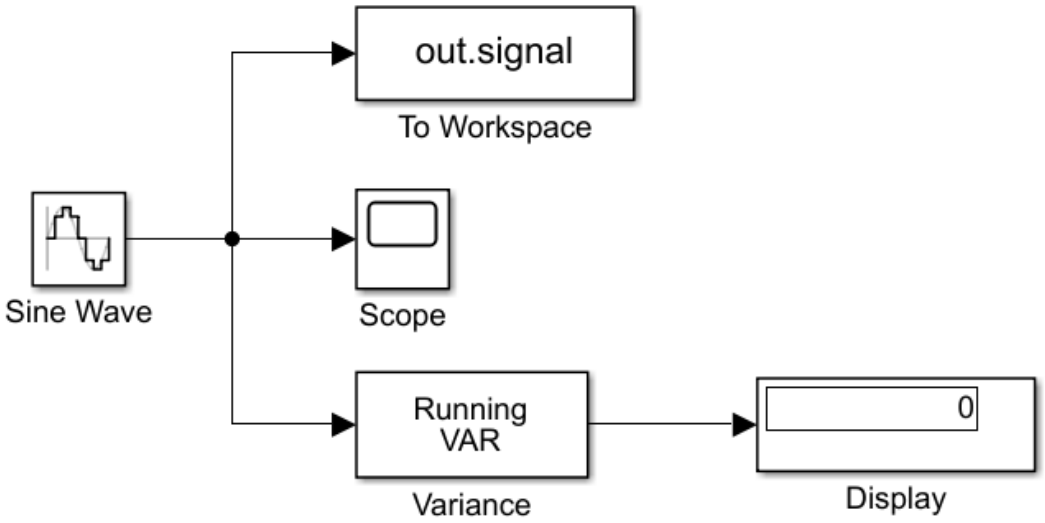
  - 可集中修改模型中模块的参数和属性设置



  - 对自定义的Matlab函数模块也可以修改变量的属性
    - 本次实验中需将某一变量设为不可变参数

Simulink操作方法

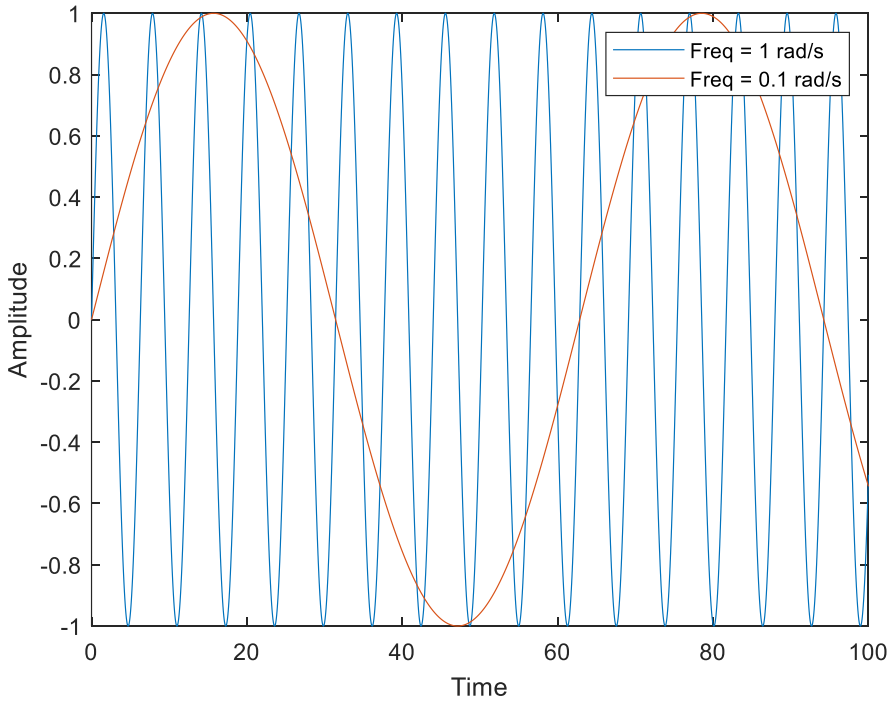
- 从Matlab运行Simulink模型（预习指导书）
  - 例：观察并导出正弦波信号
  - 在模型中添加To Workspace模块，连接到想要导出的信号并在其设置中命名为signal，保存格式为“数组”。



Simulink操作方法

- 从Matlab运行Simulink模型（预习指导书）
  - 在Matlab中调用模型仿真，从输出的结构体simOut中提取默认的tout（时间）数组和To Workspace模块指定的signal数组

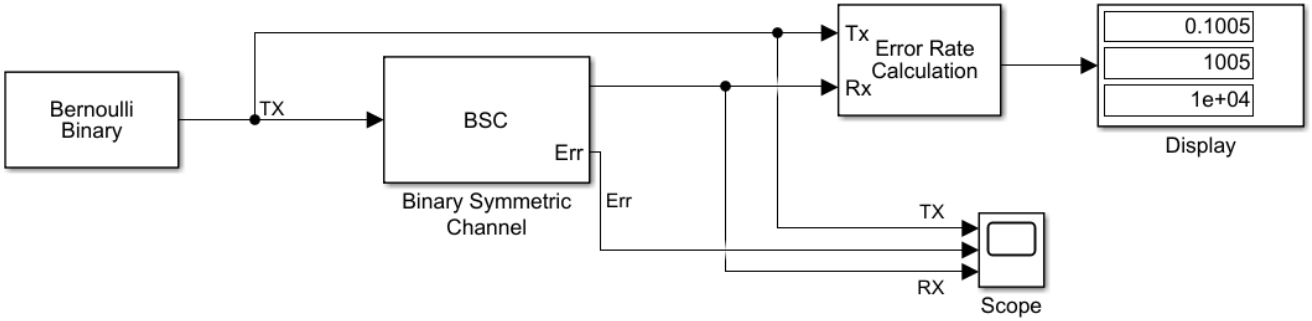
```
1  for f = [1 0.1]
2      open_system('sinewave.slx');
3      simOut = sim('sinewave');
4      save_system;
5      close_system;
6      t = simOut.tout;
7      signal = simOut.signal;
8      plot(t,signal); hold on;
9  end
```



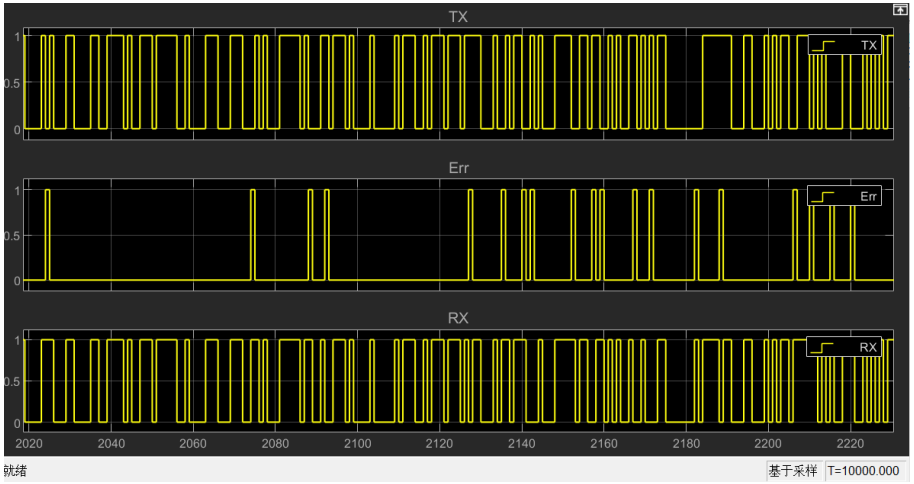
三、实验内容介绍

1. BSC差错信道

- 搭建模型

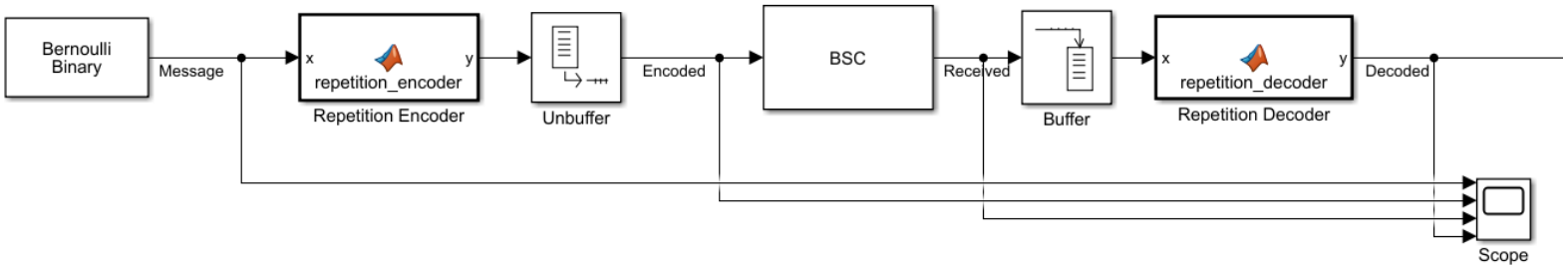


- 观察BSC信道对二元数字信号的影响



2. 重复码

- 搭建模型



  - Buffer/Unbuffer用于数据并行/串行转换

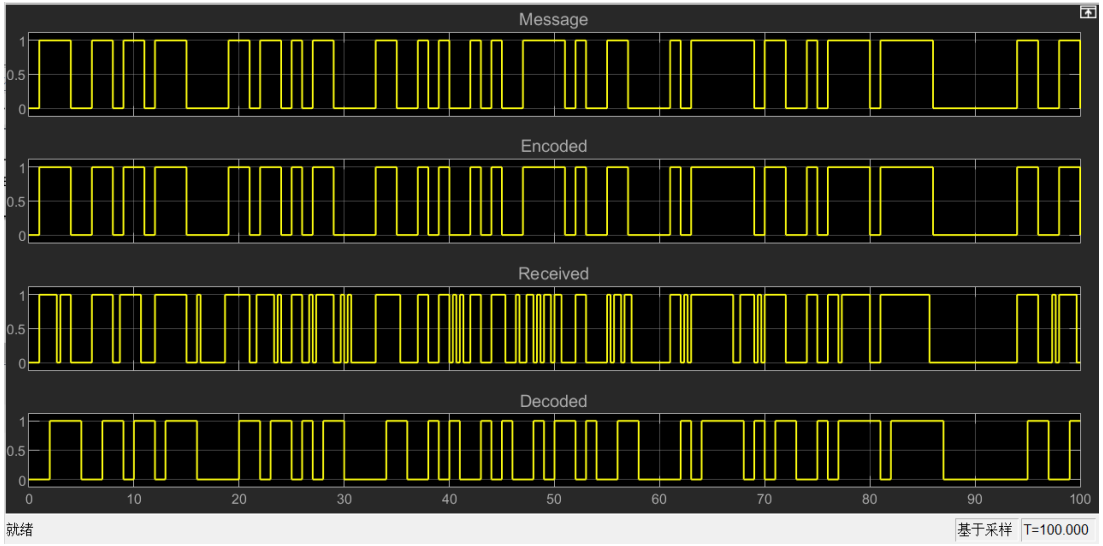
- 编写自定义Matlab函数实现(n,1)重复码

```
function y = repetition_encoder(x, n)
  % TODO: y = ?

function y = repetition_decoder(x)
  % TODO: y = ?
```

2. 重复码

- 观察延时并在误比特率计算模块设置补偿

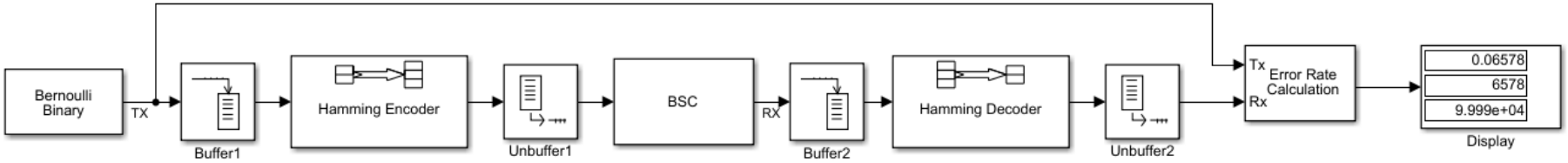


- 改变信道错误率，记录重复码的误比特率
  - (3,1) 重复编码、(7,1) 重复编码

信道错误率	0.3	0.1	0.03	0.01	0.003
误比特率					

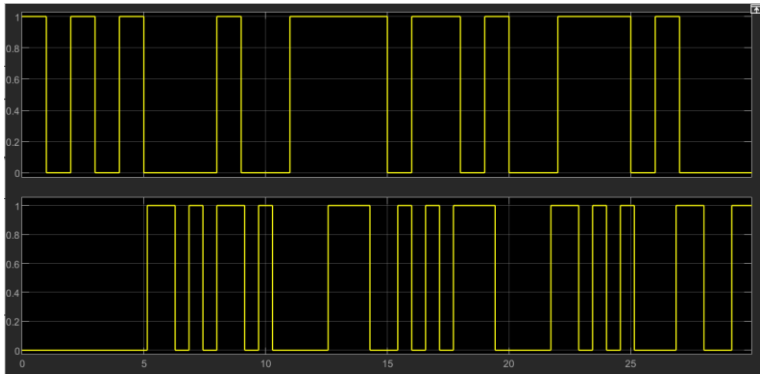
3. Hamming码

- 搭建模型



- 观察延时并设置补偿

- 观察信号并推断生成矩阵G和校验矩阵H^T



3. Hamming码

- **改变信道错误率，记录Hamming码的误比特率**
  - (7,4) Hamming码、(31,26) Hamming码
- **（选做）记录Hamming码的误块率**
  - 每个块即一个分组，有k个比特
  - 误块率定义为解码错误的块占传输的总块数的比例

信道错误率	0.3	0.1	0.03	0.01	0.003
误比特率					
误块率					

4. 绘制误比特率曲线

- **样例：exp5.m（重复码）**
  - 根据理论计算并填写(n, 1)重复码的错误概率估计值
  - 样例代码遍历仿真了不同重复位数n={3, 4, 5}和不同的信道错误概率eprob下的误比特率并绘制曲线
  - 绘制实验数据和理论值的图像并分析其对应关系

```
1   %% Repetition Code
2   open_system('repetition.slx');
3   n_list = [3 4 5];
4   eprob_list = logspace(-3,-0.5,10);
5   ber_rep = zeros(length(n_list), length(eprob_list));
6   ber_rep_th = zeros(length(n_list), length(eprob_list));
7
8   for i = 1:length(n_list)
9       for j = 1:length(eprob_list)
10          n = n_list(i);
11          eprob = eprob_list(j);
12          simOut = sim('repetition');
13          ber_rep(i,j) = simOut.ErrorStat(1);
14          ber_rep_th(i,j) = % TODO: Theoretical BER
15      end
16  end
17  save_system;
18  close_system;
```

4. 绘制误比特率曲线

- **Hamming码**
  - 根据理论计算并填写Hamming码的错误概率估计值
  - 另存修改exp5.m以绘制(7,4)，(15,11)，(31,26) Hamming码的仿真和理论差错概率曲线
  - 分析理论和仿真的对应关系

注意事项

- 注意查阅指导书中的操作方法
- 提交实验报告至网络学堂
- 实验报告需包括代码、实验流程记录、思考题回答