

现代编码技术上机实验指导书

2021 年 10 月

三 模拟信号的数字化

一、设计目的

1. 掌握采样定理。
2. 掌握脉冲编码调制的基本原理。
3. 利用 Matlab/Simulink 对模拟信号的数字化进行建模仿真验证。

二、设计原理

在模拟信号数字化方式中，出现最早且应用最广泛的是脉冲编码调制，即 PCM 编码，它经过抽样（时间离散化）、量化（幅值离散化）和编码（多电平转换为二电平）3 个步骤，将一个时间和幅值都连续变换的模拟信号变成二进制数字信号。

1. 抽样

抽样是将模拟信号在时间上离散化。对于低通型信号，当抽样频率 $f_s \geq 2f_H$ 时，属于正常抽样，不会发生频谱混叠；当 $f_s < 2f_H$ 时，属于欠抽样，已抽样信号频谱发生混叠。

2. 量化

为了保证在足够大的动态范围内数字电话语音具有足够高的信噪比，人们提出一种非均匀量化的思想：在小信号时采用较小的量化间距，而在大信号时用大的量化区间。在数学上，非均匀量化等价于对输入信号进行动态范围压缩后再进行均匀量化。对应于发送端的压缩处理，在接收端要进行相应的反变换——扩张处理。压缩扩张分为 A 律和 μ 律两种方式。中国和欧洲的 PCM 数字电话系统采用 A 律压扩方式，美国和日本则采用 μ 律方式。

3. PCM 编码和解码

PCM 是脉冲编码调制的简称，是现代数字电话系统的标准语音编码方式。A 律 PCM 数字电话系统中规定：传输语音信号频段为 300Hz 到 3400Hz，采样率为 8000 次/秒，对样值进行 13 折线压缩后编码为 8bit 二进制数字序列。因此，PCM 编码输出的数码速率为 64Kbps。

PCM 编码输出的二进制序列中，每个样值用 8 位二进制码表示，其中最高比特位表示样值的正负极性，规定负值用“0”表示，正值用“1”表示。接下来 3 位比特表示样值的绝对值所在的 8 段折线的段落号，最后 4 位是样值处于段落内 16 个均匀间隔上的间隔序号。在数学上，PCM 编码的低 7 位相当于对样值的绝对值进行 13 折线近似压缩后的 7bit 均匀量化编码输出。

三、实验内容

1、抽样

设模拟基带信号的频带为(0,200)Hz，对其进行采样的序列为均匀间隔的窄脉冲串，为保证无失真采样，最低采样率设计为 400 次/秒。试仿真采样和恢复过程，观察采样后频谱周期化现象以及采样前后及恢复信号的波形和频谱。

实验步骤:

1-1 系统分析

根据系统最高频率计算系统仿真频率及仿真步进。系统中基带信号最高频率为 200Hz，采样信号频率为 400Hz，故可将系统仿真采样率设为 4000 次/s，即 4000Hz，则仿真步进为 0.00025s。在此仿真采样率下，频率为 400Hz 的采样窄脉冲串的一个周期占 10 个仿真采样点。

1-2 根据以上分析建立系统模型。参考模型如图 3.1 所示。**注：如果 MATLAB 中没有 Analog Filter Design，请下载 DSP system to olbox**

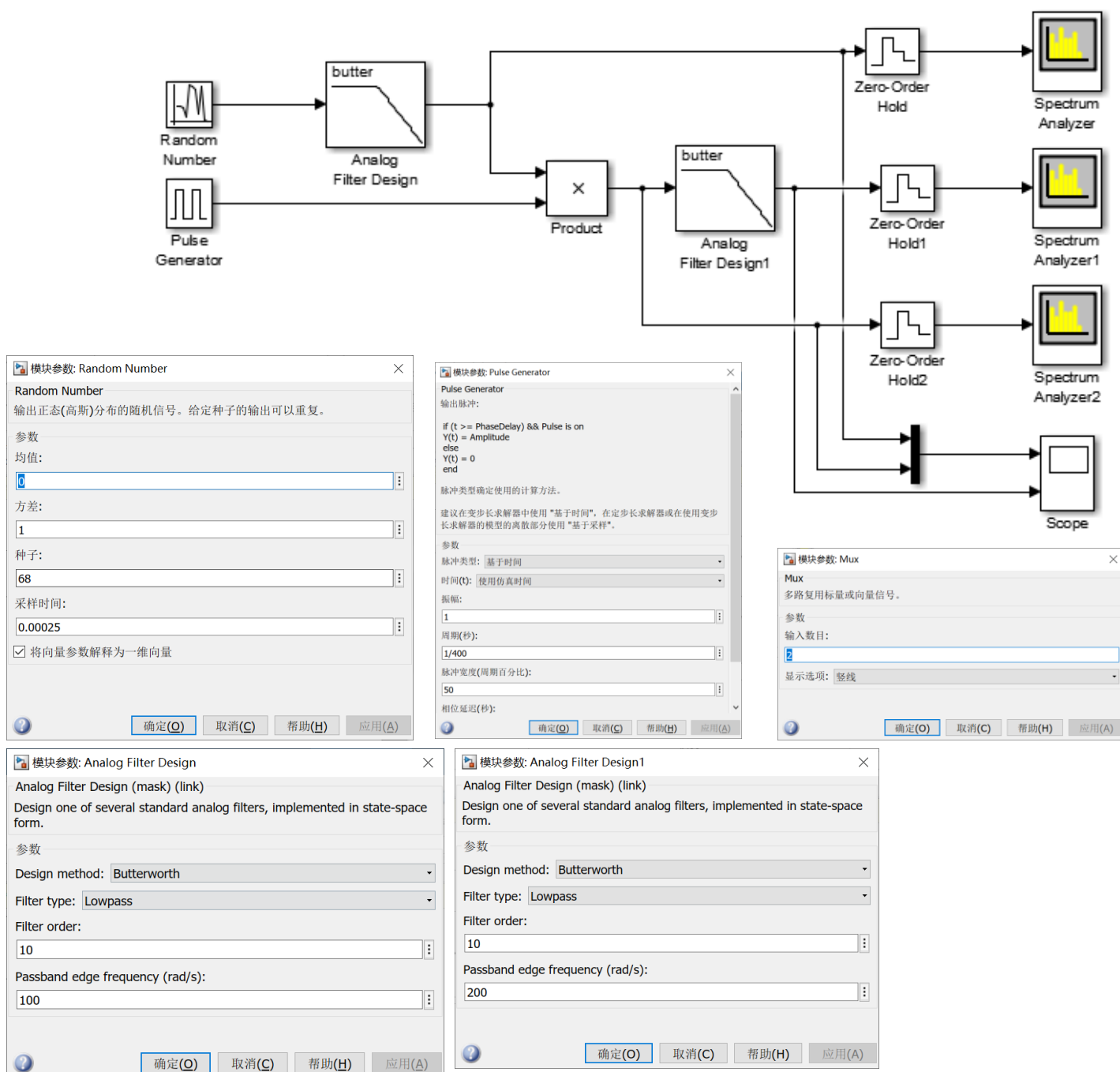


图 3.1 采样定理的原理仿真

1-3 当输入模拟信号频带为 (0, 100) 时, 查看仿真结果, 分析仿真结果。(修改 Analog Filter Design 的通带频率为 100)。

1-4 当输入模拟信号频带为 (0, 250) 时, 查看仿真结果, 分析仿真结果。

1-5 平顶采样过程的仿真

采样定理中以理想冲激串作为采样脉冲, 这在实际中是不可实现的, 所以实际采样过程都用采样保持方法来得到物理可实现的平顶脉冲形式的样值输出。在数学上, 采样保持结果相当于理想采样输出再经过一个冲激响应为矩形脉冲的保持器所得到的结果。平顶采样过程中存在高频失真, 这种由于脉冲展宽而产生的信号高频段衰减失真称为孔径效应。用 Simulink 建模时, 可用带触发端的子系统来模拟保持器的功能。

修改图 3.1 中的模型来对平顶采样过程进行建模。仿真参考模型如图 3.2 所示, 在乘法器采样之后添加了触发子系统作为保持器。设模拟信号最高频率为 150Hz (修改 Analog Filter Design 的通带频率为 150), 仿真平顶采样过程并分析仿真结果。

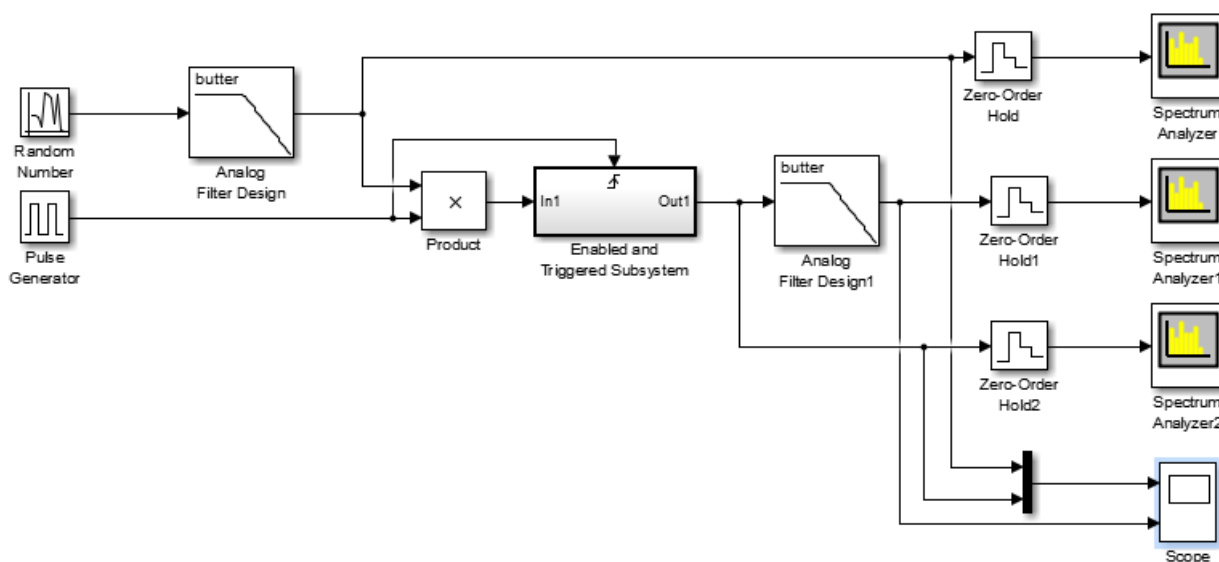
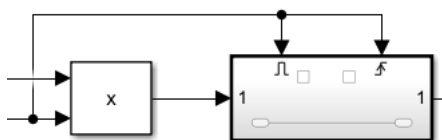


图 3.2 平顶采样过程的仿真模型

Enabled and Triggered Subsystem: 用以下这个也行:



2、A/D 和 D/A 转换器的仿真

A/D 转换负责将模拟信号转换为数字信号。实用的 A/D 转换器件的输出数据形式可以是并行的, 也可以是串行的。对串行和并行输出的 8 位 A/D 和 D/A 转换器进行仿真, 转换值范围为 0 到 255, 转换采样率为 1 次/秒。

实验步骤:

2-1 仿真系统分析

实验参考模型如图 3.3 所示。其中设置零阶保持器采样时间间隔为 1 秒，量化器模块“Quantizer”的量化间隔为 1。可见，发送信号为常数 18.6 时，零阶保持器每隔 1 秒钟采样一次，量化器将采样输出结果进行四舍五入量化，得到整数 19，“Integer to Bit Converter”模块的转换比特数设置为 8，进行 8 比特转换。转换输出为比特序列 00010011，从“Display”模块显示出来。经过并串转换后得出高速率的串行传输二进制数据流。

示波器显示了传输数据流的波形。串行数据经过串并转换还原为 8bit 并行数据后，送入“Bit to Integer Converter”，它的转换比特数也要设置为 8，这样就将 8 位并行二进制数据转换为整数值。然后通过“Display1”显示出来。D/A 输出结果与原信号值之间存在误差，这是由于量化器四舍五入过程中产生的，称为量化误差或量化噪声。

2-2 建立仿真模型并运行仿真，分析仿真结果。

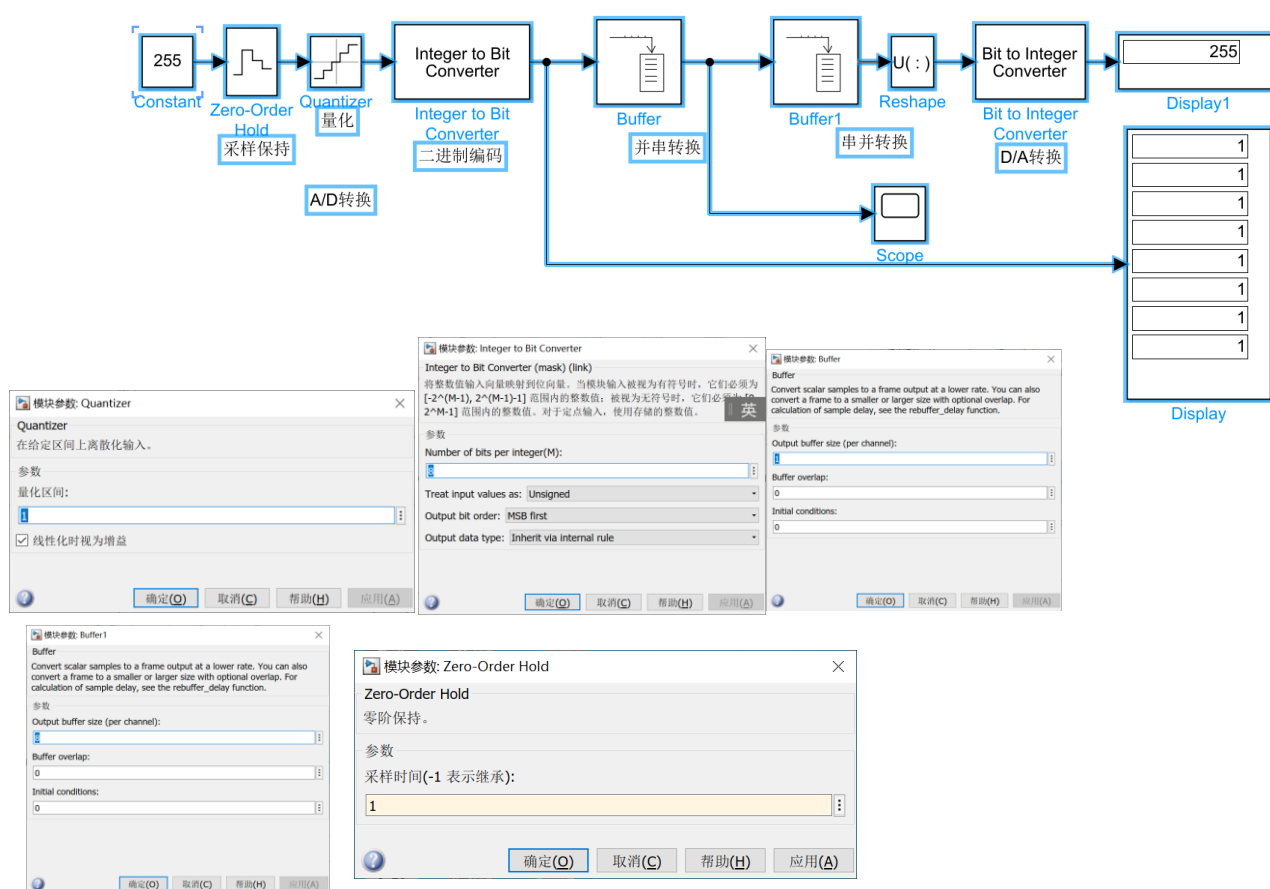


图 3.3 A/D 和 D/A 转换器模型

2-3 输入设置为 256，查看仿真结果，会出什么错误？应该怎么改才能对？请修改后查看并分析结果。

2-4 输入设置为-1，查看仿真结果，会出什么错误？应该怎么改才能对？请修改后查看并分析结果。

3、PCM 编码和解码

3-1 信号的压缩和扩张

非均匀量化等价于对输入信号进行动态范围压缩后再进行均匀量化。中国和欧洲的 PCM 数字电话系统采用 A 律压扩方式，美国和日本则采用 μ 律方式。Simulink 通信库中提供了“A-Law Compressor”、“A-Law Expander”以及“Mu-Law Compressor”和“Mu-Law Expander”来实现 A 律和 μ 律压缩扩张计算。

要求对 A 律压缩扩张模块和均匀量化器实现非均匀量化过程的仿真，观察量化前后的波形并分析仿真结果。

参考模型：

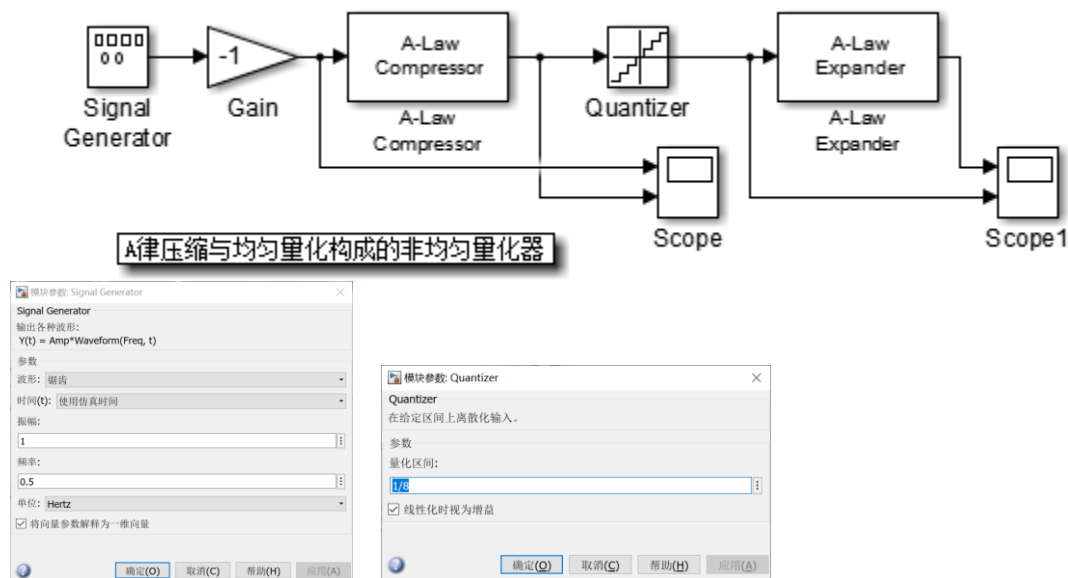


图 3.4 A 律压缩与均匀量化构成的非均匀量化模型

运行和分析结果（如果 A-Law 模块找不到，请安装 communication toolbox）。

3-2 PCM 编码

设计一个 13 折线近似的 PCM 编码器模型，能够对取值在 $[-1,1]$ 内的归一化信号样值进行编码。

参考模型：

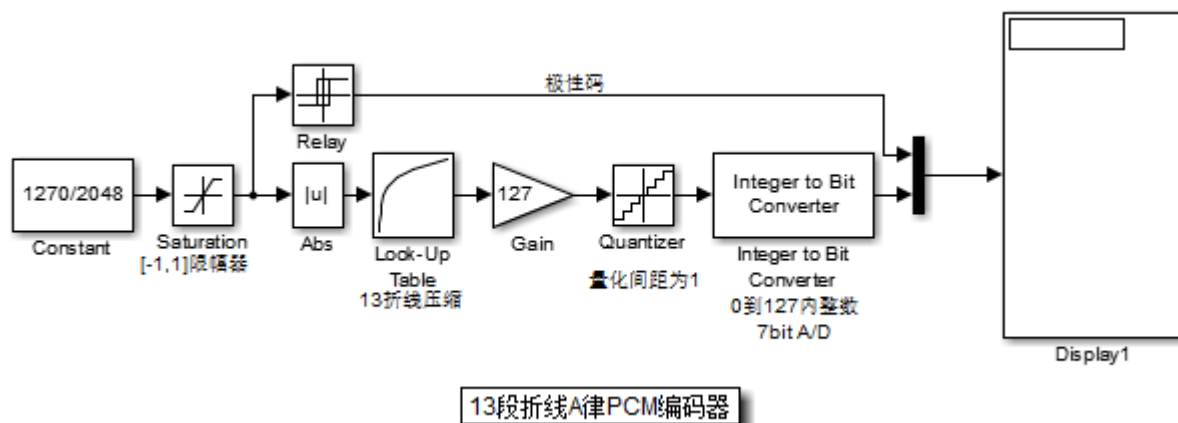


图 3.5 13 折线近似 A 律 PCM 编码器模型

其中以“Saturation”作为限幅器，将输入信号幅度值限制在 PCM 编码的定义范围内，“Relay”模块的门限设置为 0，其输出即可作为 PCM 编码输出的最高位——极性码。样值取绝对值后，以“Look-Up Table”查表模块进行 13 折线压缩，并用增益模块将样值范围放大到 0 到 127 内，然后用间距为 1 的“Quantizer”进行四舍五入取整，最后将整数编码为 7bit 二进制序列，作为 PCM 编码的低 7 位。

Simulink 中的“Look-Up Table”查表模块可以实现对 13 段折线近似的压缩扩张计算的建模，其中，

压缩模块的表数据设置为

$[-1:1/8:1]$

断点 1 设置为

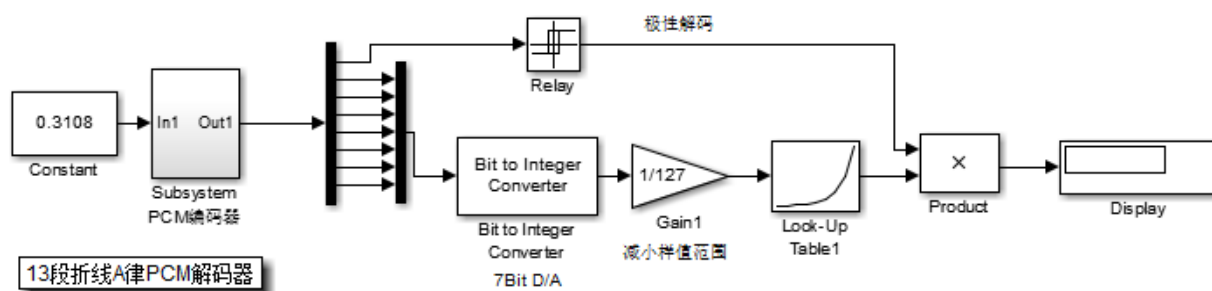
$[-1, -1/2, -1/4, -1/8, -1/16, -1/32, -1/64, -1/128, 0, 1/128, 1/64, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1]$

扩张模块的设置与压缩模块相反。

3-3 PCM 解码

设计并测试一个对应于图 3.5 所示编码器的 PCM 解码器。

参考模型：



其中 subsystem PCM 编码器为 3-2 的模块：

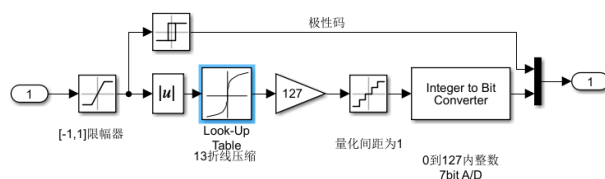


图 3.6 13 折线近似的 PCM 解码器模型

PCM 解码器中首先分离并行数据中的最高位（极性码）和 7 位数据，然后将 7bit 数据转换为整数值，再进行归一化、扩张后与双极性的极性码相乘得出解码值。

3-4 PCM 编解码器完成后，完成下表，思考编解码器的误差在什么情况下较大。

输入	输出	误差
----	----	----

0.0625		
0.125		
0.1875		
0.25		
0.3125		
0.375		
0.4375		
0.5		
0.5625		
0.625		
0.6875		
0.75		
0.8125		
0.875		
0.9375		

四 数字通信系统建模与仿真

一、实验目的及要求

1. 利用 Matlab/Simulink 建模与仿真数字通信系统。
2. 验证数字通信系统传输原理和信号处理方式。
3. 分析仿真结果。

二、实验原理

数字通信系统的概念模型如图 4.1 所示。图中各个模块和模块功能在具体的系统中不一定全部采用，采用哪些模块和模块中的哪些具体功能要取决于相应通信系统的具体设计要求。但发送端和接收端的模块是相互对应的，例如发送端使用了编码器，则接收端必须使用对应的解码器。

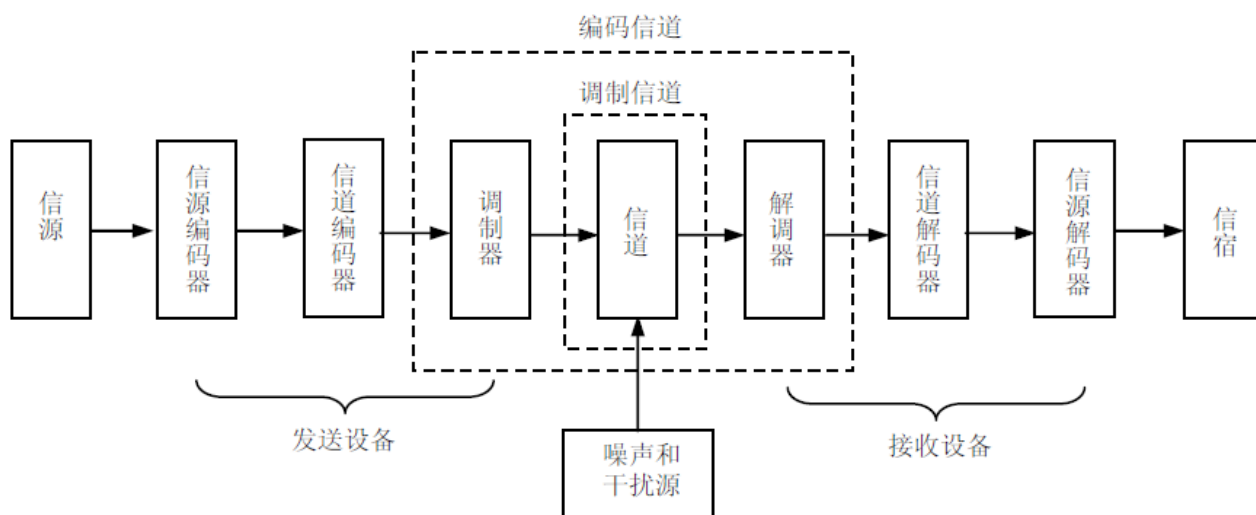


图 4.1 数字通信系统的概念模型

在发送端，信源输出的消息经过信源编码得到一个具有若干离散取值的离散时间序列。信源编码的功能是：

- (1) 将模拟信号转换为数字序列；
- (2) 压缩编码，提高通信效率；
- (3) 加密编码，提高信息传输安全性。

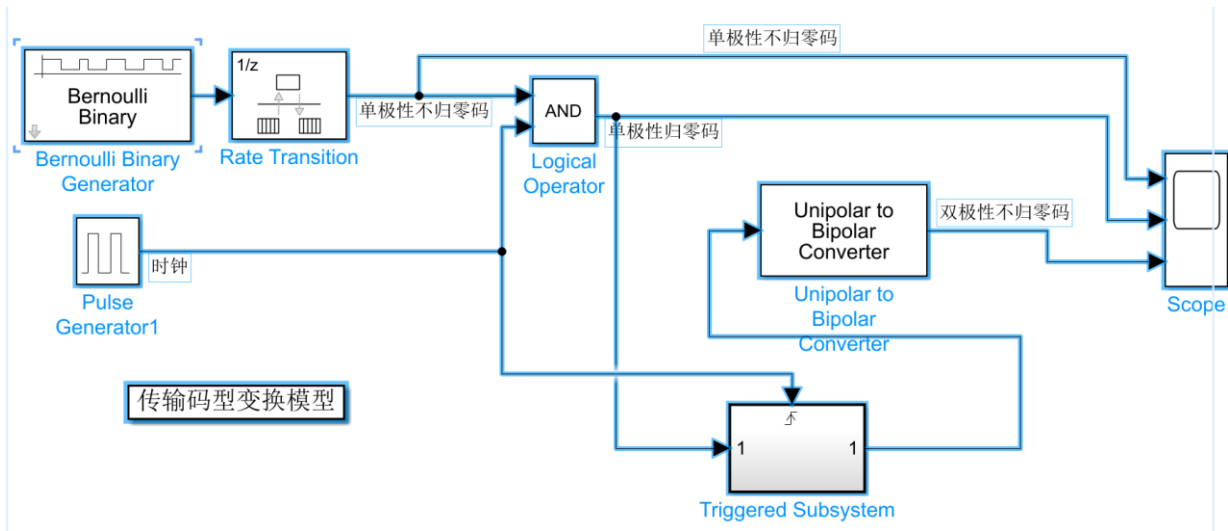
信源编码的输出序列将送入信道编码器，信道编码的功能是：

- (1) 负责对数字序列进行差错控制编码，如分组编码，卷积编码，交织和扰乱等等，以抵抗信道中的噪声和干扰，提高传输可靠性；
- (2) 对差错控制编码输出的数字序列进行码型变换（也称为基带调制），如单双极性变换、归零-不归零码变换，差分编码，AMI 编码，HDB3 编码等等，其目的是匹配信道传输特性，增加定时信息，改变输出符号的统计特性并使之具有一定的检错能力；
- (3) 对输出码型进行波形映射，以适应于带限传输信道，如针对带限信道的无串扰波形的成形滤波、部分响应成形滤波等。

如果数字通信系统中不使用调制器和解调器进行信号的基带——频带转换，则这样的系统称为数字基带传输系统。

三、实验内容

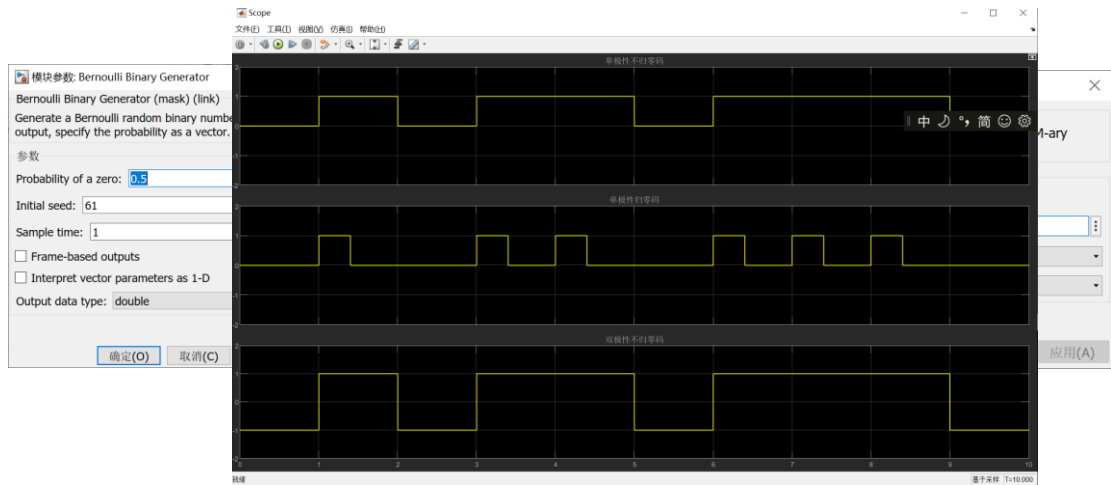
1、基带传输码型设计，仿真得出单极性不归零码、双极性不归零码以及单极性归零码的波形。



参考模型：

图 4.2 传输码型变换模型

提示：单极性到双极性的变换用通信模块中的 Unipolar to Bipolar Converter 实现。归零码是不归零码和时相乘（与门）得出的。反之，由归零码到不归零码的转换可采用采样保持器完成。设信源输出码元时间间隔为 1s，归零码占空比为 40%。结果大致如下图：



2 仿真数字双相码（曼彻斯特码）、密勒码（延迟调制码）以及传号反转码（CMI 码）编码输出波形。

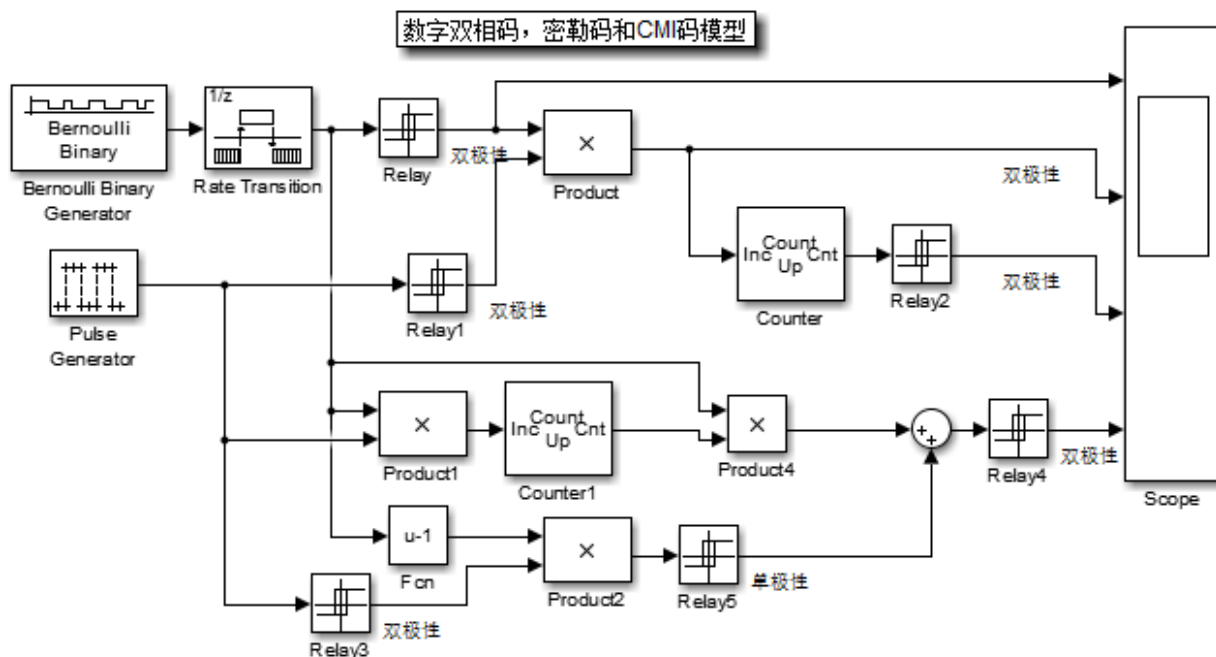
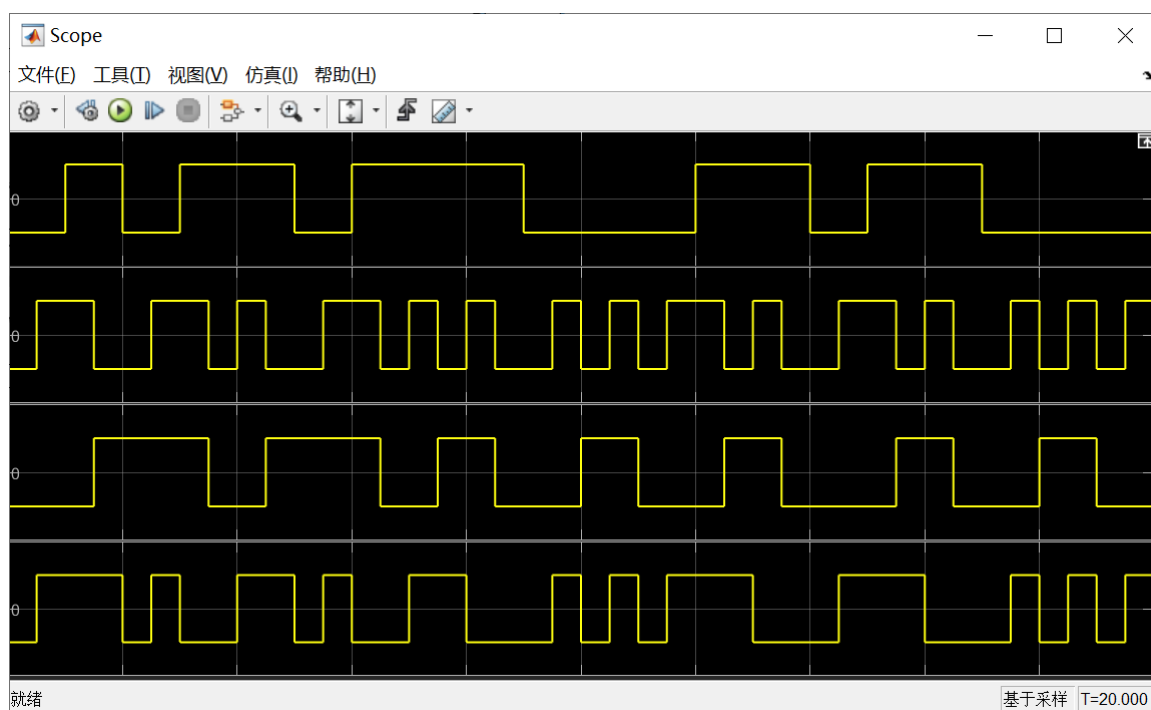


图 4.3 数字双相码、密勒码和 CMI 码模型

提示：数字双相码在一个码元传输时间间隔内用两位双极性不归零脉冲表示“1”和“0”。即用“+1,-1”表示“1”，用“-1,+1”表示“0”，“-1,-1”和“+1,+1”为禁用码。

用数字双相码的下降沿触发一个双稳态电路（即二进计数器）即可得出密勒码。密勒码的编码规律是，“1”用码元传输时间间隔中点出现波形跳变来表示，“0”则分两种情况：出现单个“0”时在码元间隔中点不出现跳变，连“0”时则在两个“0”的分界点处出现跳变。

CMI 码中规定，“0”用脉冲“-1,+1”表示，“1”则交替用“+1,+1”和“-1,-1”表示。仿真结果如下图所示：



3 试建立 AMI 编码和解码的仿真模型。

参考模型：

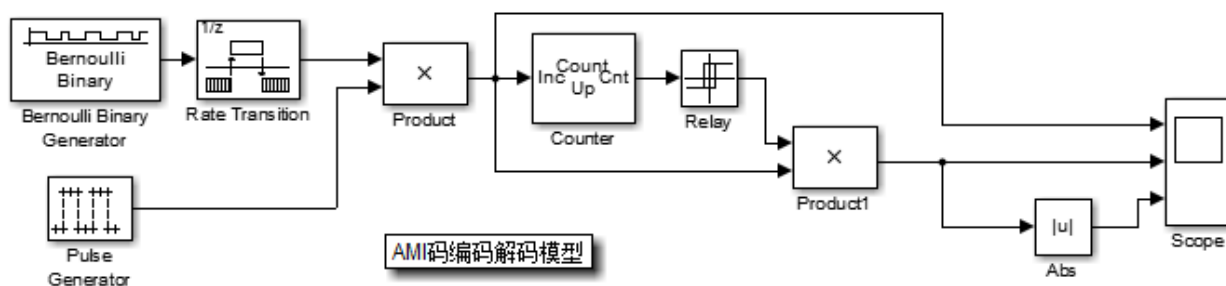


图 4.4 AMI 码编解码模型

提示: AMI 码也称为传号交替反转码, 其编码规则是: “0” 用零电平表示, “1” 用 +A 和 -A 电平交替表示。仿真模型如图所示, 其中以二进制计数器 “Counter” 模块进行符号 “1” 的奇偶统计, “Relay” 模块将计数值转换为 “±1” 并据此控制传号 “1” 的脉冲极性。AMI 码的解码很简单, 对输入取绝对值后即还原为二元归零码。仿真结果如下图:

