

3.1 通信系统仿真模块

3.1.1 信源模块

Simulink 通信工具箱中的 Comm Sources/Data Sources 提供了数字信号源 Bernoulli Binary Generator,这是一个按伯努利(Bernoulli)分布提供随机二进制数字信号的通用信号发生器。在现实中,对受信者而言,发送端的信号是不可预测的随机信号。因此,在仿真中可以用 Bernoulli Binary Generator 等效替代基带信号发生器。表 3-1 是对该模块的参数说明。

表 3-1 Bernoulli Binary Generator 模块参数说明

模块名称	Bernoulli Binary Generator			
功能描述	产生比特流			
I/O 接口	输出接口	1	输出信号属性	数字信号(比特流)
常用参数说明	Probability of a zero	产生的信号中 0 符号的概率,在仿真时一般设为 0.5,这样便于频谱的计算		
	Initial seed	初始化种子控制随机数产生的参数,要求不小于 30,而且与其他模块中的 Initial seed 设置不同的值		
	Sample time	采样时间		
	Output data type	输出数据属性		
	Frame-based outputs	选中该项,数据将以帧格式输出		

图 3-1 为 Bernoulli Binary Generator 模块和参数设置界面。



图 3-1 Bernoulli Binary Generator 模块和参数设置界面

3.1.2 信源编码/解码模块

1. 信源编码

信源编码是对输入的信息进行编码,优化信息和压缩信息以形成符合标准的数字信号比特流。信源编码有两个作用,作用之一是设法减少码元数目和降低码元速率,即通常所说的数据压缩;作用之二是将信源的模拟信号转化成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输。在通信过程中,信源编码显得尤为重要,不同的编码方式,将会对语音的质量产生重要的影响。在这个模块库中,设计有常用的一些话音编码方式。模块库的组成如图 3-2 所示。

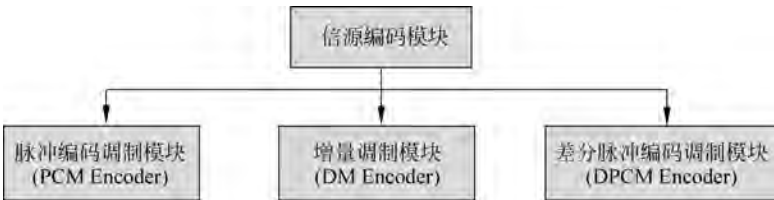


图 3-2 信源编码模块组成

1) 脉冲编码调制模块的设计

PCM 是一种对模拟信号数字化的取样技术,将模拟的话音信号转换成数字信号的编码方式,特别是对音频信号。PCM 对信号每秒取样 8000 次;每次取样为 8 位,总共 64kb/s。取样等级的编码有两种标准。北美洲及日本使用 μ 律标准,其他大多数国家使用 A 律标准。脉冲编码调制主要经过 3 个过程:抽样、量化、编码。抽样过程是将连续时间模拟信号变成离散时间、连续幅度的抽样信号,量化过程是将抽样信号变成离散时间、离散幅度的数字信号,编码过程是将量化后的信号编码成一个二进制码组输出。模块的参数说明如表 3-2 所示。

表 3-2 PCM Encoder 模块参数说明

模块名称	PCM Encoder			
功能描述	将模拟信号转换成数字信号			
I/O 接口	输入接口	1	输出接口	1
	输入信号属性	模拟信号/离散信号	输出信号属性	数字信号(比特流)
常用参数说明	Sample time	采样时间		
	Peak value	输入信号的幅度最大值		
	Compressor value	压缩值(根据不同压缩类型填写不同压缩值)		
	Law type	压缩类型(A 律或是 μ 律)		

模块的设计主要分为 4 个部分,分别是抽样、压缩、量化、编码,其中压缩分为 A 律、 μ 律。利用 Simulink 中已有的模块进行搭建,其内部结构框图如图 3-3 所示。

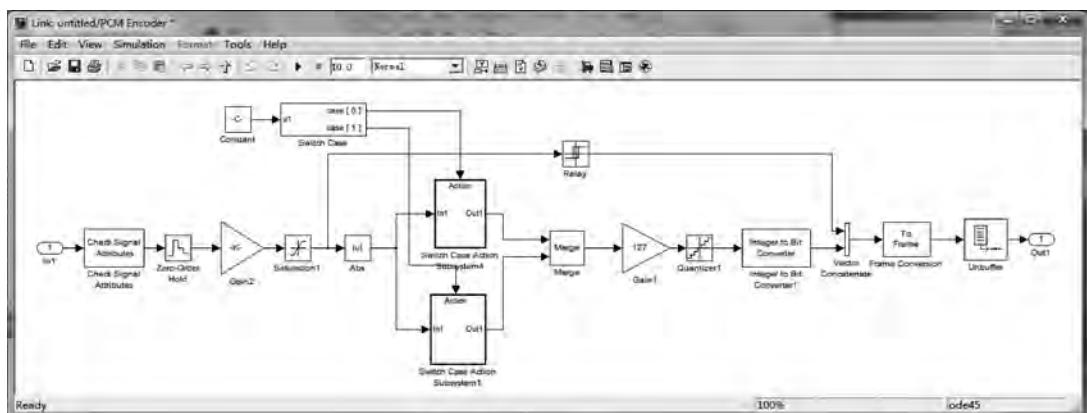
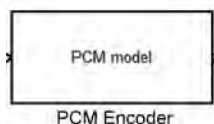
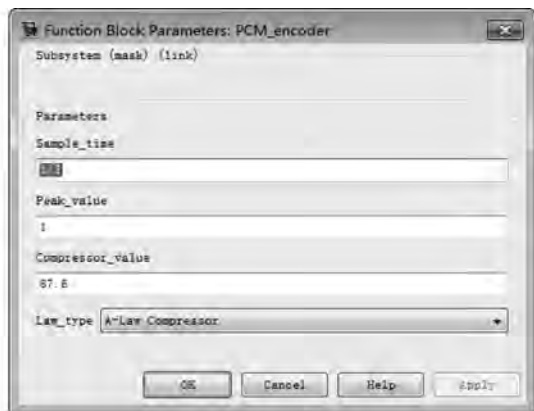


图 3-3 PCM Encoder 模块结构框图

该模块封装后的效果图及参数设置界面如图 3-4 所示。



(a) 效果



(b) 参数设置

图 3-4 PCM Encoder 模块及参数设置界面

2) 增量调制模块的设计

ΔM 或 DM 是继 PCM 后出现的又一种模拟信号数字化的方法。1946 年由法国工程师 De Loraine 提出, 目的在于简化模拟信号的数字化方法。主要在军事通信和卫星通信中广泛使用, 有时也作为高速大规模集成电路中的 A/D 转换器使用。

ΔM 与 PCM 相比, 具有以下三个特点:

- (1) 电路简单, 而 PCM 编码器需要较多逻辑电路。
- (2) 数据率低于 40kb/s 时, 话音质量比 PCM 好, DM 一般采用的数据率为 32kb/s 或 16kb/s。
- (3) 抗信道误码性能好, 能工作于误码率为 10^{-3} 的信道, 而 PCM 要求信道误码率低于 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 。因此, DM 适用于军事通信、散射通信和农村电话网等中等质量的通信系统。DM 技术还可应用于图像信号的数字化处理。DM 模块的参数说明如表 3-3 所示。

表 3-3 DM Encoder 模块参数说明

模块名称	DM Encoder			
功能描述	将模拟信号转换成数字信号			
I/O 接口	输入接口	1	输出接口	1
	输入信号属性	模拟信号/离散信号	输出信号属性	数字信号(比特流)
参数说明	Sample time	采样时间		
	DM value	增量调制的量化区间 ΔM		

在实现中,先进行抽样,然后用积分器来实现相加器和延迟单元的功能,可用量阶发生器和极性开关来组成量化器,而数码形成部分可由移位寄存器组成。实现的方式主要使用 Simulink 现有的模块进行搭建,模块内部结构框图如图 3-5 所示。

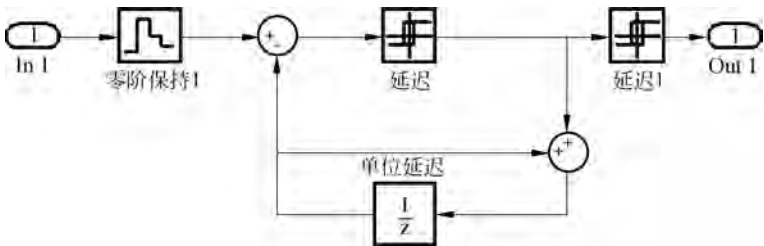


图 3-5 DM Encoder 模块结构框图

模块封装后的效果图及参数设置界面如图 3-6 所示。

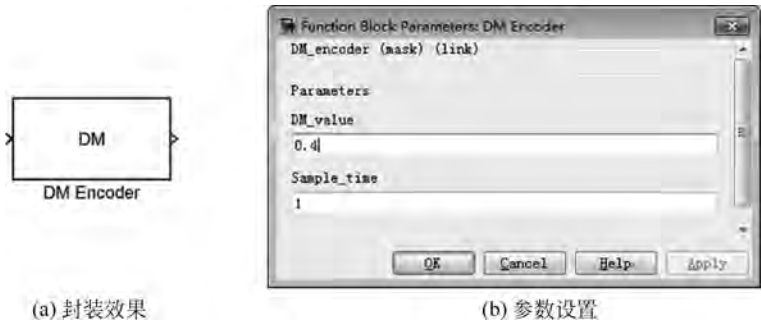


图 3-6 DM Encoder 模块及参数设置界面

3) 差分脉冲编码调制模块

DPCM 的基本思想是将“话音信号值同预测编码的差值”做量化编码。DM 可看作简化后的 DPCM,它只是将话音信号与预测值的差值做了简单的量化(即只存在两个量化值 $+\sigma$ 、 $-\sigma$),1b 的编码,而差分脉冲编码是将该差值进行多区间量化,编码位数由划分的量化区间数量决定。与 PCM 和 DM 相比,DPCM 在提高信道利用率的同时,降低了编码的量化误差。模块参数说明如表 3-4 所示。

表 3-4 DPCM Encoder 模块参数说明

模块名称	DPCM Encoder			
功能描述	将模拟信号转换成数字信号			
I/O 接口	输入接口	1	输出接口	1
	输入信号属性	模拟信号/离散信号	输出信号属性	数字信号(比特流)
参数说明	Sample time	采样时间		
	Numerator coefficient	线性预测模块传递函数分子系数矩阵		
	Denominator coefficient	线性预测模块传递函数分母系数矩阵		
	Quantization partition	量化分割, 为了对采样值与预测值的差值进行量化所划分的区间		
	Quantization codebook	量化码本, 对采样值与预测值的差值进行量化		

差分脉冲编码实现的结构框图如图 3-7 所示。

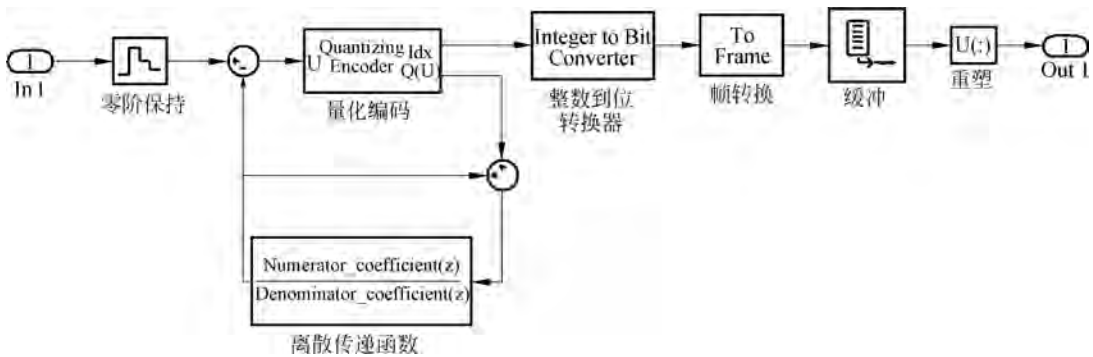


图 3-7 DPCM Encoder 结构框图

模块封装后的效果图及参数设置界面如图 3-8 所示。

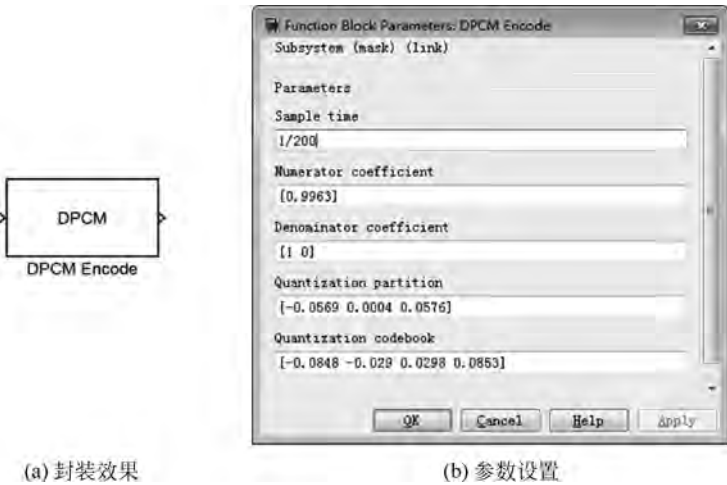


图 3-8 DPCM Encoder 模块及参数设置界面

2. 信源解码

与信源编码模块组成相对应,信源解码主要包含 3 个模块,具体如图 3-9 所示。

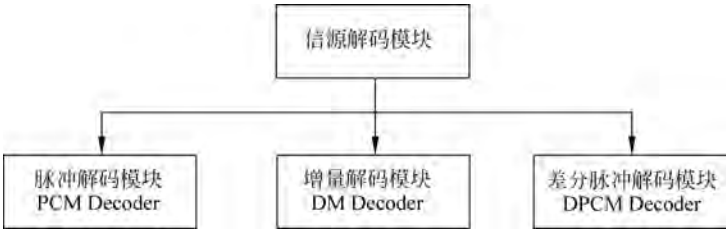


图 3-9 信源解码模块组成

1) 脉冲解码模块的设计

脉冲解码是脉冲编码调制的逆过程,它是把编码后的信息还原成时间上连续的信号。在工程实现的过程中,将会还原出在时间上离散的信号,由于在调制过程中采用了 8kb/s 的抽样速率和每样值 8b 的编码方式,所以在解码过程中同样需要采用每样值 8b 的解码方式。在解码中,同样有两种不同的标准,一种是 A 律,另一种是 μ 律。这个模块的说明如表 3-5 所示。

表 3-5 PCM Decoder 模块参数说明

模块名称	PCM Decoder			
功能描述	将数字信号转换成时间上离散的离散信号			
I/O 接口	输入接口	1	输出接口	1
	输入信号属性	数字信号(比特流)	输出信号属性	模拟信号/离散信号
常用参数说明	Sample time	采样时间		
	Peak value	输入信号的幅度最大值		
	Compressor value	压缩值(根据不同压缩类型填写不同压缩值)		
	Law type	压缩类型(A 律或是 μ 律)		

PCM 的解码器首先分离出并行数据中的最高位和 7 位数据,然后将 7 位数据转换为整数值,再进行归一化,扩张后与双极性码相乘得出解码值,该模块主要利用 Simulink 中现有的模块库进行搭建,模块的结构图如图 3-10 所示。

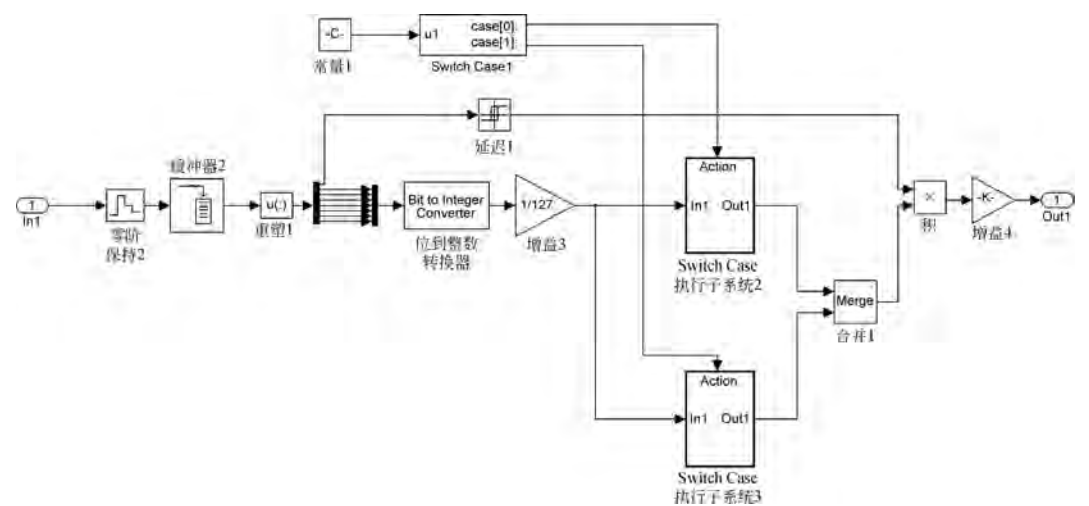


图 3-10 PCM Decoder 结构框图

模块封装后的效果图及参数设置界面如图 3-11 所示。

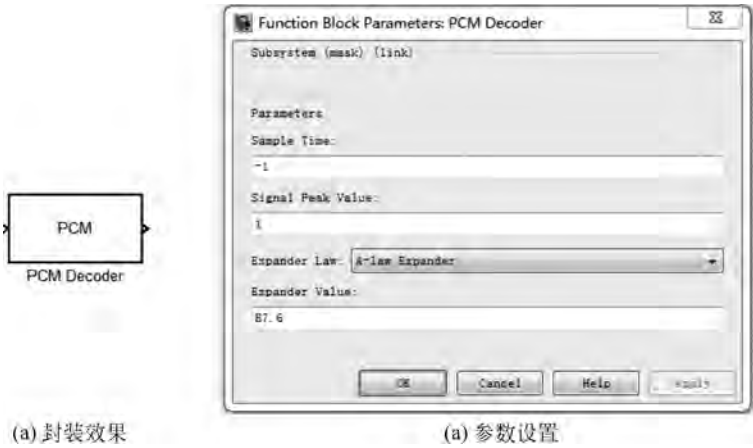


图 3-11 PCM Decoder 模块及参数设置界面

2) 增量解码模块的设计

增量解码模块是对增量调制的解码,它是把数字信号还原成在时间上连续、在幅度上离散的信号。这个模块的参数说明如表 3-6 所示。

表 3-6 DM Decoder 模块参数说明

模块名称	DM Decoder			
功能描述	将数字信号还原成在时间上连续、在幅度上离散的信号			
I/O 接口	输入接口	1	输出接口	1
	输入信号属性	模拟信号/离散信号	输出信号属性	数字信号(比特流)
参数说明	Sample time	采样时间		
	DM value	增量调制的量化区间 ΔM		

在解码中,增量解码模块由一个延迟相加电路组成,在实用中,为了简单起见,通常用一个积分器来代替上述的延迟相加电路。实现的主要方式是通过 Simulink 中现有的模块进行搭建,其实现的结构框图如图 3-12 所示。

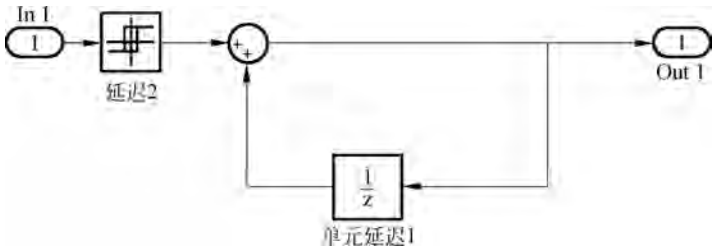


图 3-12 DM Decoder 结构框图

封装后的效果图及参数设置界面如图 3-13 所示。

3) 差分脉冲解码模块的设计

差分脉冲解码模块解码过程与 DM 相似,只是解码模块变得较为复杂,必须与编码模块具有相同的码本才能恢复出与发送端相同的波形。模块的参数说明如表 3-7 所示。

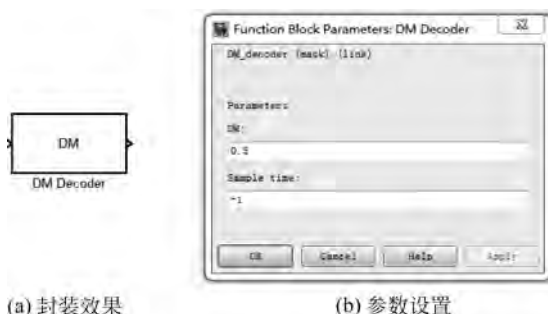


图 3-13 DM Decoder 模块及参数设置界面

表 3-7 DPCM Decoder 模块参数说明

模块名称	DPCM Decoder			
功能描述	将模拟信号转换成数字信号			
I/O 接口	输入接口	1	输出接口	1
	输入信号属性	模拟信号/离散信号	输出信号属性	数字信号(比特流)
参数说明	Sample time	采样时间		
	Numerator coefficient	线性预测模块传递函数分子系数矩阵		
	Denominator coefficient	线性预测模块传递函数分母系数矩阵		
	Quantization partition	量化分割, 为了对采样值与预测值的差值进行量化所划分的区间		
	Quantization codebook	量化码本, 对采样值与预测值的差值进行量化		

如图 3-14 所示为 DPCM Decoder 的结构框图。

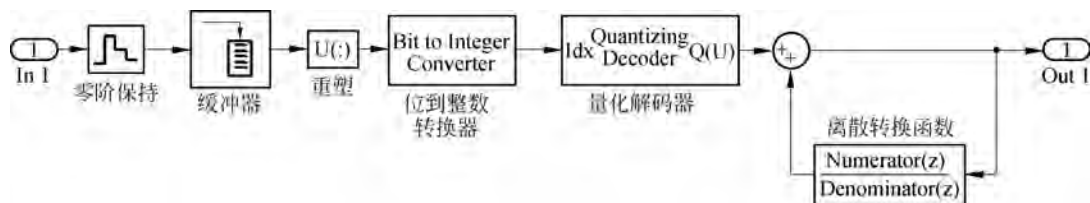


图 3-14 DPCM Decoder 结构框图

封装后的效果图及参数设置界面如图 3-15 所示。

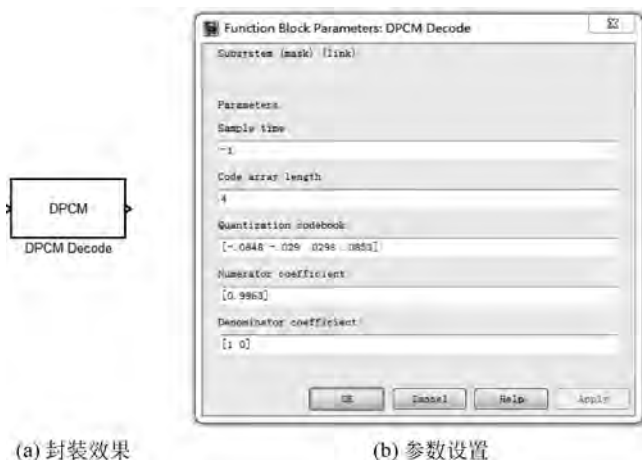


图 3-15 DPCM Decoder 模块及参数设置界面

3.1.3 信道编码/解码模块

1. 信道编码

信道编码是根据一定的规律在待发送的信息码中加入一些冗余,以确保或提高传输的可靠性。信道编码的任务就是构造出以最小的冗余度代价换取最大抗干扰的“好码”。在实际的通信过程中,由于信道存在噪声和干扰,使发送的码字与信道传输后所接收的码字之间存在差异,称这种差异为差错。信道编码的目的是为了改善通信系统的传输质量。根据码的规律性,可分为检纠错码和非检纠错编码两大类,前者的规律性在于编码后码字中 k 位信息与 $r=n-k$ 位监督元之间建立了一定的函数关系,监督元随信息组变化而变化,码字具有一定的检、纠错能力,后者包括扰码和交织编码等。在这个模块库中,设计有两类常用的信道编码方式:检纠错码和非检纠错码。图 3-16 所示模块是通信系统中常用到的信道编码类型,限于篇幅,本节只对检纠错码和非检纠错码中的卷积、交织模块进行介绍,其他模块读者可参看 MATLAB 的帮助文档。本节介绍的模块均在 Simulink 模块库中 Communication Blockset→Error Detection and Correction 和 Interleaving 目录下,用户可在该目录下调用这些模块。通信系统常用到的信道编码模块如图 3-16 所示。

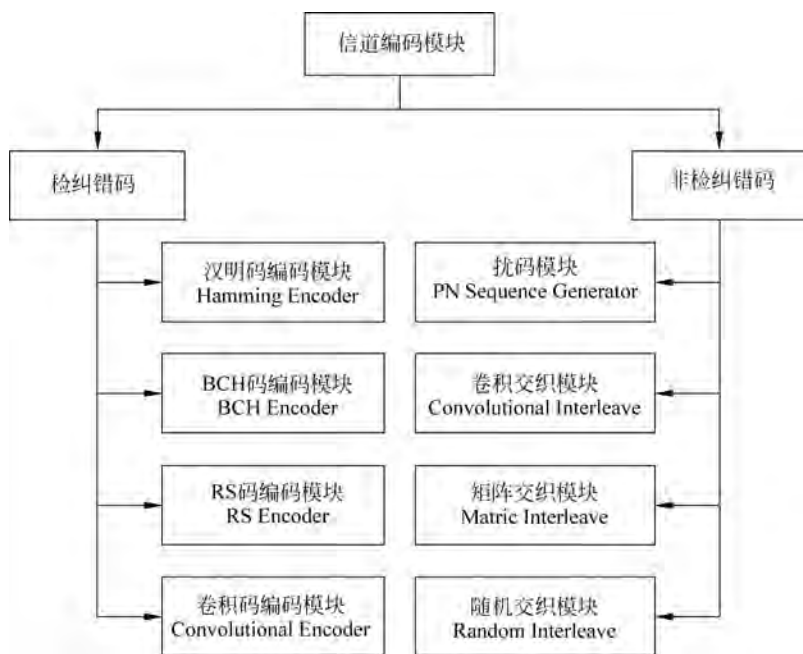


图 3-16 信道编码模块组成

1) 汉明码编码模块的设计

该模块可以产生一个 (N, K) 的汉明编码。码字长度 $N = 2^M - 1$, 信息长度 $K = N - M$ 。具体码字读者可以参阅汉明码表, 模块使用 `gfprimdf(M)` 作为 $GF(2^M)$ 的本原多项式。`gfprimdf` 函数将返回一个二进制向量作为参数指定的本原多项式。该向量可以作为 Message length K 的输入。表 3-8 为模块的参数说明。

表 3-8 汉明码编码模块参数说明

模块名称	Hamming Encoder			
功能描述	对信息加入冗余位以便进行纠错,提高传输的可靠性			
I/O 接口	输入接口	1	输出接口	1
	输入信号属性	数字信号(比特流)	输出信号属性	数字信号(比特流)
参数说明	Codeword length N	码字长度		
	Message length K,or M-degree primitive polynomial	信息位长度,输入向量的长度		

图 3-17 为汉明码编码模块及参数设置界面。



图 3-17 Hamming Encoder 模块及参数设置界面

2) BCH 码编码模块的设计

BCH 码编码模块的输入必须是有 K 的整数倍个元素基于帧的列向量,每 K 个输入元素代表一个码字。模块中完成 (N, K) 的 BCH 编码。其中 N 具有 $(2^M - 1)$ 形式, $3 \leq M \leq 16$ 。如果 N 小于 $(2^M - 1)$,那么模块认为码长减少了 $2^M - 1 - N$; 如果 N 大于 $(2^M - 1)$,那么必须在模块参数项 Primitive polynomial 中设定适当的 M 值,具体的常用参数说明如表 3-9 所示,图 3-18 为 BCH 码编码模块及参数设置界面。

表 3-9 BCH 码编码模块参数说明

模块名称	BCH Encoder			
功能描述	对信息加入冗余位以便进行纠错,提高传输的可靠性			
I/O 接口	输入接口	1	输出接口	1
	输入信号属性	数字信号(比特流)	输出信号属性	数字信号(比特流)
常用参数说明	Codeword length N	码字长度		
	Message length K	信息位长度,输入向量的长度		
	Specify generator polynomial	选定后出现 Generator polynomial 项,代表初始多项式的二进制系数的行向量		