**实验四：模拟信号的数字化及编码**

**一、实验目的**

1. 掌握低通信号的抽样及重建过程；

2. 掌握PCM的编码及译码过程；

3. 掌握汉明码的编码及译码过程；

4. 掌握卷积码的编码及译码过程。

**二、实验原理**

1. 低通信号的抽样定理

对于带宽受限的信号，抽样定理表明，采用一定速率的抽样后可以由抽样序列无失真地重建恢复原始信号。抽样的过程是将输入的模拟信号与抽样信号相乘而得，通常抽样信号是一个周期为的周期脉冲信号，抽样后得到的信号称为抽样序列。理想抽样信号定义如下：

，

其中，称为抽样速率。因此抽样后的信号为：

。

一个频带为的低通信号，可以无失真地被抽样速率的抽样序列所恢复，即：

，

其中代表卷积运算。

2. PCM编码及译码

对模拟信号进行抽样、量化，将量化后的信号电平值变换为二进制码组的过程称为编码，其逆过程称为译码。

A律对数压缩特性：

。

实际应用中采用13折线近似A律压缩特性。输入的信号经过抽样、量化后，每个抽样值编码成8个比特的二进制码组。量化时，A律中的每个区间又被均匀量化成16个量化电平，其编码规则为：

，

其中：

*  为极性码，时对应输入为负，时对应输入为正；
*  为段落码，对应8个区间；
*  为段内码，对应16个量化电平值。

A律的国际标准PCM编码表如下所示。（注意，这里的编码表与教材中的编码表略有不同，教材中量化级间隔为，段内量化间隔分别为1，1，2，4，8，16，32，64。此时如果令，同时段内量化间隔变为2倍，则会变为下表所示的情形。）

A律PCM编码，单位：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 段落编码 | 区间范围/ | 量化间隔/ | 量化区间/ | 量化输出/ | PCM编码 |
| 000 | [0,32) | 2 | [0,2)  [2,4)  [4,6)  …  [30,32) | 1  3  5  …  31 | 1 000 0000  1 000 0001  1 000 0010  …  1 000 1111 |
| 001 | [32,64) | 2 | [32,34)  [34,36)  [36,38)  …  [62,64) | 33  35  37  …  63 | 1 001 0000  1 001 0001  1 001 0010  …  1 001 1111 |
| 010 | [64,128) | 4 | [64,68)  [68,72)  [72,76)  …  [124,128) | 66  70  74  …  126 | 1 010 0000  1 010 0001  1 010 0010  …  1 010 1111 |
| 011 | [128,256) | 8 | [128,136)  [136,144)  [144,152)  …  [248,256) | 132  140  148  …  252 | 1 011 0000  1 011 0001  1 011 0010  …  1 011 1111 |
| 100 | [256,512) | 16 | [256,272)  [272,288)  [288,304)  …  [496,512) | 264  280  296  …  504 | 1 100 0000  1 100 0001  1 100 0010  …  1 100 1111 |
| 101 | [512,1024) | 32 | [512,544)  [544,576)  [576,608)  …  [992,1024) | 528  560  592  …  1008 | 1 101 0000  1 101 0001  1 101 0010  …  1 101 1111 |
| 110 | [1024,2048) | 64 | [1024,1088)  [1088,1152)  [1152,1216)  …  [1984,2048) | 1056  1120  1184  …  2016 | 1 110 0000  1 110 0001  1 110 0010  …  1 110 1111 |
| 111 | [2048,4096) | 128 | [2048,2176)  [2176,2304)  [2304,2432)  …  [3968,4096) | 2112  2240  2368  …  4032 | 1 111 0000  1 111 0001  1 111 0010  …  1 111 1111 |

译码是编码的逆过程。译码的作用是把接收到的PCM信号还原成量化后的原样值信号。例如，设译码器输入的PCM码字（除极性码外）为“111 0011”，表示样值位于第8段落的序号为3的量化间隔内。因此，其对应的译码电平应该在此间隔的中间，以便减小最大误码误差（详见教材P300）。

1. 汉明码编码及译码

汉明码具有的共同特性是：。式中，是大于等于3的正整数例如，时，有（7，4）汉明码。MATLAB提供了生成汉明码的函数hammgen，以及用汉明码进行编码译码的encode和decode函数。

1. h=hammgen(m)：

产生一个的汉明校验矩阵，其中，。需要注意的是，产生的校验矩阵的形式，是的单位矩阵。

1. [h.g]=hammgen(m)：

产生一个的汉明校验矩阵和相对应的生成矩阵，其中，。，是的单位矩阵。而，其中，是的单位矩阵，这与前面讨论的生成的矩阵形式不同。

1. code = encode(msg,n,k,'type/fmt')或 code=encode(msg,n,k)：

code=encode(msg,n,k,'type/fmt')可以进行一般的线性分组编码、循环编码和 Hamming编码。所选用的编码方式由 type指定。它的值可以是linear、cyclic或hamming，分别对应上面提到的3种编码方式，fmt参数取值可以是binary或decimal，分别用来说明输入待编码数据是二进制还是十进制。当使用code=encode(msg,nk)时，默认的是使用Hamming编码。

1. msg=decode(code,n,k,'type/fmt')或msg=decode(code,n,k)：

msg=decode(code,n,k,'type/fmt')用来对编码数据进行译码，其type/fmt的取值与encode函数的type/fmt的取值相对应。当使用msg=decode(code,n,k)时，默认的是对Hamming编码程进行译码。

1. 卷积码编码及译码

MATLAB提供了卷积码的函数编码convenc和相应的Viterbi译码函数vitdec。卷积码的编码函数主要有以下四个：

1. code=convenc(msg,trellis)：

完成输入信号msg的卷积编码，其中trellis 代表编码多项式，但其必须是 MATLAB的网格结果，需要利用poly2trellis函数将多项式转化为网格表达式。msg 的比特数必须为 log2(trellis.numInputSymbols)。

1. code=convenc(msg,trellis,puncpat)：

作用与1类似，其中puncpat定义凿孔模式。

1. code=convenc(msg,trellis,…init\_state)：

init\_state指定编码寄存器的初始状态。

1. decoded=vitdec(code,trellis,tblen,opmode,dectype)：

对码字code 进行Viterbi译码。trellis表示产生码字的卷积编码器，tblen表示回溯的深度，opmode指明译码器的操作模式，dectype 则给出译码器判决的类型，如软判决和硬判决。

**三、实验内容**

1. 设低通信号。

（1）画出该低通信号的波形；

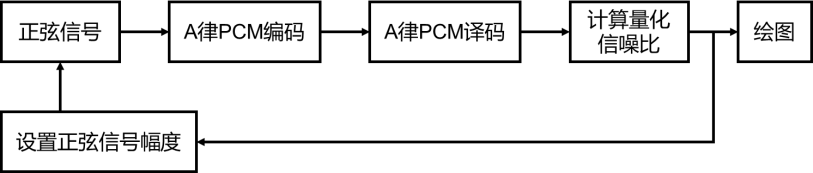
（2）画出抽样速率为的抽样序列；

（3）画出抽样序列恢复出的原始信号。

2.设输入信号为对信号进行抽样、量化和A律PCM编码，经过传输后，接收端进行PCM译码，过载电平。

（1）画出经过PCM编码、译码后的波形与未编码波形的对比图；

（2）设信道没有误码，画出不同幅度情况下（dB，），PCM译码后的量化信噪比。此时仿真框图可以表示为：



仿真中噪声功率可以用mean((x-y).^2)来计算，其中x表示信号的抽样值序列，y表示量化信号值序列。

3.设消息比特个数为1000000，仿真进行（7，4）汉明编码的QPSK调制通过AWGN信道后的误比特率性能。

4.设消息比特个数为1000000，仿真BPSK调制在AWGN信道下使用卷积码的误比特率性能，其中卷积码约束长度为7，生成多项式为[171,133]，码率为二分之一，译码分别采用硬判决译码和软判决译码。

**四、实验要求**

1. 每次完成实验后按要求完成实验报告，实验报告格式如下：

|  |
| --- |
| 一、实验目的 |
| 二、实验内容 |
| 三、实验程序（标明代码注释） |
| 四、实验结果（图形添加标题） |
| 五、实验分析（分析现象及原因） |

2.实验报告满分5分，最终实验成绩根据报告内容进行评定，请注意逾期提交报告或报告格式不符合要求都将影响最终实验成绩。

3.请于6月11日晚12：00前提交实验报告至邮箱：jiahaoma@buaa.edu.cn，命名格式为：“学号+姓名+第X次实验报告”。