

数字通信原理实验

班级：通信071—072班

时间：第12—17周

地点：英东楼305，微机9室

指导教师：王员根

实验指导书:

《通信系统建模与仿真》，韦岗，季飞，傅娟
，电子工业出版社**2007年6月**，第一版

实验项目

- 1、随机信号的功率谱密度实验 P89
- 2、BER的蒙特卡罗实验 P108
- 3、脉冲编码调制（PCM）实验 P118
- 4、QPSK数字调制实验 P138
- 5、简化的CDMA通信系统仿真 P204
- 6、TD-SCDMA系统仿真实验（综合性） P231

基本要求:

- 1、对实验项目的各项要求进行系统建模和具体功能模块的设计。
- 2、画出总体实现框图，保证仿真顺利完成。
- 3、仿真和实验：通过仿真和实验（工具：**MATLAB**）。
- 4、每个实验的第三节课进行演示与成绩评定，等级为优秀,良好,中等,及格,不及格五等。
- 5、提交实验报告：内容为直接回答问题，绝不需粘贴代码，最多叁页纸。（当然要实验名称班级姓名学号啦）

1、随机信号的功率谱密度实验

随机信号才是真正的通信信号，而它的功率谱是个非常重要的参数，因为它表征信号在不同频率点上功率（能量）的分布强度。如快速变化的随机信号的功率将主要分布在高频部分，而缓慢变化的信号功率将分布在低频段。

维纳—辛钦定理：平稳过程的自相关函数与功率谱密度是一对付氏变换

若随机过程的功率谱密度是平坦的（一个常数），则称为白色过程（名字来源于白光），若取值又服从正态分布，则称为高斯白色过程（简称高斯白噪声，AWGN）

马尔可夫过程 (markov) :随机信号当前的取值只与前一个时刻的取值有关, 如:

$$X(n)=0.9X(n-1)+w(n), n=1,2\cdots 1000; X(0)=0$$

$W(n)$ 是在 $(-1/2, 1/2)$ 内均匀分布的独立同分布的随机序列, 样本的采样频率 $f_s=100\text{Hz}$

试通过计算机编程求该随机过程的自相关函数和功率谱密度, 并画图。

已知自相关的估值式为:

$$\hat{R}_X(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=1}^{N-m} X(n)X(n+m), \quad m=0,1,\dots,M$$

请在实验报告中分析并回答下列问题：

- 1、直流信号的功率分布在那些频率点上？
- 2、高斯白噪声的总功率为多大？
- 3、试解析为何高斯白噪声在任意两个不同时刻都不相关，也常称它是随机性最强的随机过程。
- 4、MATLAB中，序列X的第一个元素是X(0)还是X(1)？
- 5、程序中若注释掉 `X=zeros(1,N);` 这一行，程序还能否正常运行？这行代码的功能是什么？
- 6、程序中若注释掉 `Sx=Sx/fs;` 这一行，程序还能否正常运行？结果有什么变化，为什么？
- 7、在所有参数和代码都不变的情况下，请您保存多次运行的结果，这些结果是否相同？为什么？如何修改程序才能保证每次运行结果都相同？
- 8、程序中M的取值范围是多少？试在范围内选取不同的值进行测试并分析实验结果，从而理解功率谱的性质。(注意要保证其他条件相同)
- 9、程序中rh的取值范围是[0.0-1.0]，试在范围内选取不同的值进行测试并分析实验结果，从而理解自相关函数与功率谱的性质。
(注意要保证其他条件相同)

2、BER的蒙特卡罗实验

世界闻名的赌城蒙特卡罗是欧洲西南部摩纳哥公国的首都，世界上最小的国家之一。Monte carlo方法的数学理论基础是大数定律。随机信号的实验结果是无法准备预测的，只能用统计的方法加以描述，而实际实验次数 $N < \infty$

所以，事件A发生的概率的真实值是 $P(A) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_A}{N}$
而 $\hat{P}(A) = \frac{N_A}{N}$ 只是 $P(A)$ 一个估计值。

BPSK信号通过AWGN信道的ber的理论值为：

$$P_e = Q(\sqrt{2E_s / N_0})$$

问题：

- 1、程序中哪行代码相当于BPSK？测试函数 $X=\text{randn}(N)$ ，试用 $\text{plot}(x)$, $\text{hist}(x)$ 去体会高斯分布。帮助信息： `help randn`, `help plot`, `help hist`
- 2、程序中哪行代码表示信号经过了噪声信道？噪声强度由哪个参数来控制？
- 3、改变参数 N ,观察结果随 N 如何变化？并分析原因。
- 4、为什么曲线是单调降的？
- 5、当 N 太少时，比如50， 仿真结果的数据点数有什么变化？为什么？
- 6、所有代码和参数都保持不变，运行多次，每次结果是否相同？为什么？
- 7、若 $X \sim N(0,1)$ ， 则 $Y=aX$ 服从什么分布？程序中哪几行代码体现了该思想？

3、脉冲编码调制（PCM）实验

A/D转换的三步：抽样，量化，编码

量化就是让数据爬斜波变成走台阶的过程，是信号失真（损失）的根源。

若量化电平数 $L = 2^N$ ，则量化器输出的比特率为： $R = Nf_s$ ， f_s 为抽样频率。

编程实现对信号 $s = (\cos(x) + 2)\sin(x)$ 进行均匀PCM量化编码，并求出量化噪声比。

$0 < x < 2\pi$

问题：

- 1、测试函数 find, fix, round, floor, ceil, norm 的用法，并分别说明他们的功能。
- 2、哪几行代码执行自然二进制编码？并把编码结果存放在硬盘上。
- 3、量化电平数与量化噪声是什么关系？试测试量化级数为24时的结果，并对比之。
- 4、请在MATLAB中测试 $\text{dB} = 10\log_{10}(s/n)$ 计算式，加强对概念“信噪比每翻一陪，就是提高了3dB”的认识。
- 5、程序中对输入信号做了“归一化”处理，它有什么好外？不做“归一化”结果是否一样，又如何改写代码来实现？
- 6、请认真分析与跟踪量化和编码的循环程序（这是本实验最难的代码部分），提高对复杂程序的阅读与编写能力。

4、QPSK数字调制实验

本实验验证基本的数字调制系统中的4相移键控（QPSK）的性能，考查的指标是误码率（也即误符号率）。

- 1、撑握高斯白噪声时的信噪比表示方法间的转换关系，即： SRN =信号功率：噪声功率，分贝，噪声方差之间如何转换？
- 2、为什么仿真误码率时理论值用了更多的数据点？
- 3、哪几行代码实现了QPSK调制？又是如何实现的？
- 4、为什么要加复值的高斯白噪声？
- 5、哪行代码表示QPSK信号经过了AWGN信道？
- 6、本实验采用的是最小距离解码，如何理解接收信号与发送信号的投影最大就是与之距离最小？
- 7、程序中哪个变量体现了Monte Carlo 思想？
- 8、测试复数的表示及运算函数：abs, real, imag, angle, conj
- 9、测试下列函数的用法：zeros, ones, rand, randn, max, min, var, mean
- 10、思考：如果要计算误比特率，应该如何修改程序来实现？

5、简化的CDMA通信系统仿真

扩频通信的特点：大大提高了抗干扰能力，代价是占用了更大的带宽。
本实验对8路信号码分复用成一路信号进行传输，并观察其抗干扰能力。

问题：

- 1、程序中哪行代码产生了8路待发送的源始信号？
- 2、测试函数 `kron`, `randint` 的用法？掌握扩频通信思想与扩频调制方法。
- 3、程序中哪行代码进行了多路信号的复用并得到了复合的发送信号？
- 4、测试函数`randn`,`awgn` 的用法，掌握对高斯白噪声信道进行建模的两种方法。
- 5、程序中哪行代码执行了“相关”的运算？
- 6、扩频因子为扩频后的速率与扩频前的速率比，那本实验的扩频因子是多少？
- 7、假如不进行扩频后码分复用，有其他的多路复用方法吗？它通过噪声信道后，误比特率是增大还是减小？

6、TD-SCDMA系统仿真实验（综合性）

3G:Third Generation Mobile Communication, 2009年1月7日14:30分, 中国工业和信息化部为中国移动、中国电信和中国联通发放3张牌照, 此举标志着我国正式进入**3G**时代。三大运营商**3G**时代鼎足而立, 新版大戏“三国演义”正式启幕。这将拉动我国两年内达**2万亿**的直接或间接投资。

中国移动: **TD-SCDMA**(我国自主知识产权: 大唐电信)

中国联通: **WCDMA**(国际标准: 日本、欧州)

中国电信: **CDMA2000**(国际标准: 韩国、北美)

销烟战火(民间段子): 中国联通耗巨资请来大姚代言: “联通新时空”, 抢去了移动大部分业务, 移动立马作出反应: 请来居住上海的大姚的父亲代言, 推出全球通业务, 口号是“儿子新时空, 老子全球通”, 并为夺回业务, 推出新套餐动感地带, 并请来时下青春偶像人物周杰伦代言: “我的地盘我作主”, 眼看动感地带的销量大幅提升, 联通也按耐不住立马反击, 请来周杰伦的爷爷: 推出**UP**新势力, 口号是“孙子才玩动感地带”, 移动当然不甘示弱, 为说明自己的性能稳定, 持续通话性能良好, 请来**82岁**大翁扬振宁广告词“我还能”, 中国联通迅速请来**28岁**的神秘女子翁帆, 喊出口号“你不能, 我也叫你能”进行攻击。

问题: 1、哪个变量是**QPSK**信号? 2、哪行代码执行了扩频过程? 用到了哪几个正交扩频码? 3、请查阅资料, 说明加扰和**midamble**码的作用是什么? 4、利用**Nyquist**传输无失真准则解析脉冲成型的作用? 5、无线信道是一个多径信道, 本实验仿真了几条路径? 6、哪个变量是信道估计的结果? 7、本实验中信道噪声的强度为多大? 8、本实验采用了最小欧氏距离解码准则, 它在程序中是如何实现的? 9、本实验最终得到的各路用户的误码是多大? 10、试讨论本实验中哪几项关键技术提高了**TD-SCDMA**系统的抗误码性能, 又是如何影响的?

希望大家合作愉快

参考解答1:

1、直流信号的功率分布在那些频率点上?

答: 直流信号的频率为零, 故它只在零频率点有值, 其他频率点均为零, 这也可以从直流信号的付氏变换是个冲激函数得到结论。

2、高斯白噪声的总功率为多大?

答: 高斯白噪声的功率谱密度是一个不为零的常数, 且频谱分布从负无穷到正无穷, 总功率就是频率轴上对谱密度积分, 故为无穷大。这也可以从功率谱密度的付氏反变换是个冲激函数, 而根据维纳—辛钦定理, 这个冲激函数就是它的自相关函数, 自相关函数在零点的取值就是总功率, 故也为无穷大。

3、试解析为何高斯白噪声在任意两个不同时刻都不相关, 也常称它是随机性最强的随机过程。

答: 这可以从高斯白噪声的自相关函数是个冲激函数可以得出, 任意两个不同时刻的随机变量间都不相关, 因此它的随机性最强 (即前后数据间的取值没有任何的相互依赖关系)

4、MATLAB中, 序列X的第一个元素是X(0)还是X(1)? 答: X(1)

5、程序中若注释掉 `X=zeros(1,N);` 这一行, 程序还能否正常运行? 这行代码的功能是什么?

答: 这行代码的功能是对变量进行初始化, 也即进行整块的内存分配, 若没有这行, 程序能正常运行, 但由于下面循环每次都重新定义一个变量X(i), 即随机的在内存中分配一个空间给这个变量。这些内存的分配是不连续的, 极易造成内存泄漏, 这是一种极不良编程习惯。

6、程序中若注释掉 `Sx=Sx/fs;` 这一行, 程序还能否正常运行? 结果有什么变化, 为什么?

答: 这一步仅是归一化数据, 使数据大小更合理, 易于理解。

7、在所有参数和代码都不变的情况下, 请您保存多次运行的结果, 这些结果是否相同? 为什么? 如何修改程序才能保证每次运行结果都相同?

答: 不同, 因为每次运行都会生成不同的随机数, 可以采用save, load 函数保存数据。

8、程序中M的取值范围是多少? 试在范围内选取不同的值进行测试并分析实验结果, 从而理解功率谱的性质。(注意要保证其他条件相同)

答: M在[0, N-1]之间, M越大, 求出的自相关函数的数据点数就越多, 尽管自相关函数随自变量的增大逐渐降为零, 但自相关函数越长, 求得的功率谱密度就越精确 (即更逼近真实值)

9、程序中rh的取值范围是(0.0-1.0), 试在范围内选取不同的值进行测试并分析实验结果, 从而理解自相关函数与功率谱的性质。(注意要保证其他条件相同)

答: RH反映了前后随机变量之间相关性程度的一个系数, RH越大, 前后数据间的相关性越强, 自相关函数下降缓慢, 对应的功率谱密度曲线越尖锐 (在极端情况下, 直流信号自相关函数也是个常数, 即前后数据间完全相关, 以知前一个数据完全可以推知后面的数据, 没有任何随机性, 故功率谱密度是个冲激函数, 最尖锐), RH越小, 相关性越弱, 自相关函数急速下降, 对应的功率谱密度曲线越平缓 (同样在极端情况下, 当RH=0时, 前后数据间完全没有依赖关系, 即不相关, 仅取决于相互独立的W(N), 这时自相关函数变为冲激函数, 功率谱密度就是一个不变的常数了, 即X(N)成了白噪声)

参考解答2:

1、程序中哪行代码相当于BPSK? 测试函数 $X=\text{randn}(N)$, 试用 $\text{plot}(x)$, $\text{hist}(x)$ 去体会高斯分布。帮助信息: `help randn`, `help plot`, `help hist`

答: $x_d=2*d-1$;

2、程序中哪行代码表示信号经过了噪声信道? 噪声强度由哪个参数来控制?

答: $y_d=x_d+n_d$; σ

3、改变参数 N , 观察结果随 N 如何变化? 并分析原因。

答: N 越大, 估计值与理论值越逼近, 特别注意当 N 太小时, 随着信噪比的提高, 可能会出现BER太小或为零的情况, 此时估计值的点数在高信噪比段会消失。

4、为什么曲线是单调降的?

答: 误码率随信噪比增大而降低。

5、当 N 太少时, 比如50, 仿真结果的数据点数有什么变化? 为什么?

答: 第3个问题已经回答了这个问题,

6、所有代码和参数都保持不变, 运行多次, 每次结果是否相同? 为什么?

答: 因为每次运行都是随机生成的数, 故结果不同。

7、若 $X \sim N(0,1)$, 则 $Y=aX$ 服从什么分布? 程序中哪几行代码体现了该思想?

答: Y 仍服从正态分布, 但方差增大了, 变为 a^2 , 对零均值的高斯分布的随机信号, 总功率即为交流功率, 也即方差。程序中正是通过调节 a 来得到不同功率的噪声信号, 从而改变信噪比。 $n_d=\sigma*\text{randn}(1)$

参考解答3:

1、测试函数 find, fix, round, floor, ceil, norm 的用法，并分别说明他们的功能。

Find:找条件为真项的坐标，fix:朝零方向取整，round:四舍五入，floor:朝负无穷方向取整，ceil:朝正无穷方向取整，norm:求模。

2、哪几行代码执行自然二进制编码？并把编码结果存放在硬盘上。

Save code;

3、量化电平数与量化噪声是什么关系？试测试量化级数为24时的结果，并对比之。降函数关系。

4、请在MATLAB中测试 $\text{dB}=10\log_{10}(s/n)$ 计算式，加强对概念“信噪比每翻一倍，就是提高了3dB”的认识。

5、程序中对输入信号做了“归一化”处理，它有什么好外？不做“归一化”结果是否一样，又如何改写代码来实现？

6、请认真分析与跟踪量化和编码的循环程序（这是本实验最难的代码部分），提高对复杂程序的阅读与编写能力。

参考解答4:

- 1、掌握高斯白噪声时的信噪比表示方法间的转换关系，即： $SRN = \text{信号功率} : \text{噪声功率}$ ，分贝，噪声方差之间如何转换？
- 2、为什么仿真误码率时理论值用了更多的数据点？
使理论曲线更平滑，利于观察估计值与之逼近情况。
- 3、哪几行代码实现了QPSK调制？又是如何实现的？
- 4、为什么要加复值的高斯白噪声？
因为是复信道。
- 5、哪行代码表示QPSK信号经过了AWGN信道？
- 6、本实验采用的是最小距离解码，如何理解接收信号与发送信号的投影最大就是与之距离最小？
- 7、程序中哪个变量体现了Monte Carlo 思想？N
- 8、测试复数的表示及运算函数：abs, real, imag, angle, conj
取模，取实部，取虚部，求相角，共轭
- 9、测试下列函数的用法：zeros, ones, rand, randn, max, min, var, mean
全零矩阵，全1矩阵，产生（0，1）之间的均匀分布的随机数，产生的随机数，求最大值，求最小值，求方差，求均值。
- 10、思考：如果要计算误比特率，应该如何修改程序来实现？（本题答案由仲恺通信071班赵楚凡同学提供）

```
numofber=0; if (decis_qpsk~=qpsk(i)) numoferr=numoferr+1; if (decis_qpsk==-qpsk(i)) numofber=numofber+2; else numofber=numofber+1; end end  
Pb=numofber/(2N)
```

参考解答5:

1、程序中哪行代码产生了8路待发送的源始信号？

`Signal=randint(N_user,Len_Data);`

2、测试函数 `kron`, `randint` 的用法？掌握扩频通信思想与扩频调制方法。

3、程序中哪行代码进行了多路信号的复用并得到了复合的发送信号？

`for i=1:N_user`

`TranSig(1,:)= TranSig(1,:)+SigSp(i,:);`

`end`

4、测试函数 `randn`, `awgn` 的用法，掌握对高斯白噪声信道进行建模的两种方法。

5、程序中哪行代码执行了“相关”的运算？

`De_Spr(j,Len_PN*(i-1)+1:Len_PN*i)=RecSig(Len_PN*(i-1)+1:Len_PN*i).*c(j,:);`

6、扩频因子为扩频后的速率与扩频前的速率比，那本实验的扩频因子是多少？ 8

7、假如不进行扩频后码分复用，有其他的多路复用方法吗？它通过噪声信道后，误比特率是增大还是减小？ TDM, ber 增大。

参考解答6:

- 1、哪个变量是QPSK信号?
- 2、哪行代码执行了扩频过程? 用到了哪几个正交扩频码?
- 3、请查阅资料, 说明加扰和midamble码的作用是什么?
- 4、利用Nyquist传输无失真准则解析脉冲成型的作用?
- 5、无线信道是一个多径信道, 本实验仿真了几条路径?
- 6、哪个变量是信道估计的结果?
- 7、本实验中信道噪声的强度为多大?
- 8、本实验采用了最小欧氏距离解码准则, 它在程序中是如何实现的?
- 9、本实验最终得到的各路用户的误码是多大?
- 10、试讨论本实验中哪几项关键技术提高了TD-SCDMA系统的抗误码性能, 又是如何影响的?