
通信系统仿真实验任务书

实验题目：蒙特卡罗系统仿真方法

实验目的：通过对蒙特卡罗系统仿真方法的学习和仿真实验，深入了解进行参数估计的蒙特卡罗方法的基础。掌握基本的参数估计方法，掌握多种通信系统的蒙特卡罗仿真。

实验内容：

实验 1-1： 假设

$$x_d[n] = \cos\left(\frac{\pi}{6}\right), \quad d[n] = 0$$

$$x_q[n] = \sin\left(\frac{\pi}{6}\right), \quad d[n] = 1$$

仿真二进制 PSK 系统，绘制 BER 曲线

实验 1-2： 使用每个符号 20 次采样的采样频率，重新运行上面 BPSK 调制的仿真，这样能否改进时延的估计？试对你的答案进行解释。

用 20 次采样/符号的采样频率估计误比特率，并和上面例题 c210.m 的 10 次采样/符号的结果进行比较，作出结果曲线图并简要说明。

实验 1-3： 修改本章中 BPSK 调制的仿真，使 PSK 系统的仿真是逐个符号的方式而不是块级联的方式。也就是说，随机二进制数据源产生二进制比特（0 或 1），重复对应于这些二进制符号的波形样本，以满足给定的采样数/符号指标所需的次数。（根据 c212.m 的方法进行仿真）

实验 1-4： 例 7（c213.m）考察了差分 QPSK 系统的蒙特卡罗仿真，重新编写 QPSK 系统而不是差分 QPSK 系统的仿真程序，与差分 QPSK 系统从多个方面（例如 BER，符号同步误差，相位同步误差和抖动等方面）进行对比，比较有无 ISI 的情况，比较在不同的相移范围内，两种系统的抗相位同步误差性能

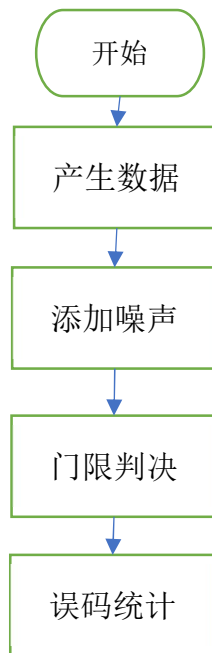
实验 1-1

1 基本原理

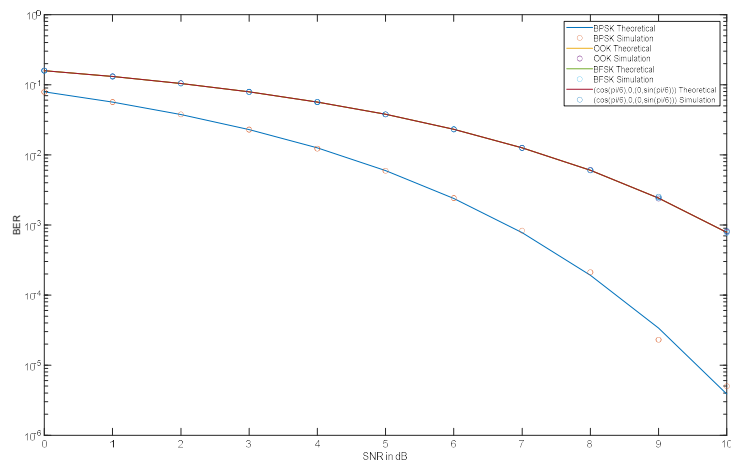
幅度及相位调制可通过星座图进行分析。加性高斯白噪声在星座图中可分解为同相和正交方向高斯量 $X, Y \sim N(0, \sigma^2)$ ，信号星座点在任一方向上的投影分布为 $X \cos \theta + Y \sin \theta \sim N(0, \sigma^2)$ 。故对于两点调制，最佳判决门限应为两点中垂线，此时 $BER = Q(\frac{d}{2} / \sigma)$ ，其中 d 为两点间距离。由 $\sigma^2 = N_0 / 2$ ，可得 $BER = Q(\sqrt{\frac{d^2}{2N_0}})$ 。

对最佳接收情况，取 $E_b = 1$ ， $SNR = E_b N_0$ ，可得 $BER = Q(\sqrt{\frac{d^2}{2} SNR})$ 。

2 仿真实验设计



4、仿真实验结论



仿真实验结果如图所示。可看出，相同条件下，BPSK 抗噪性较好，其余三种调制方式抗噪性相当。基于最佳接收理论分析，BPSK 的相关系数为-1，假设其余三种方式的相关系数为 0，则在码元平均能量 E_b 相同情况下，结论与仿真结果一致。

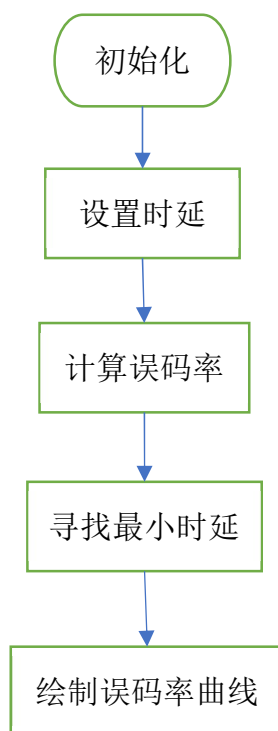
实验 1-2

1 基本原理

将信道建模为一数字滤波器，信号经过信道传输后，脉冲波形发生变化。将匹配滤波接收的最佳判决时刻与发送端码元的结束时刻之差视为信道的时延，可通过累试法寻找最小时延。

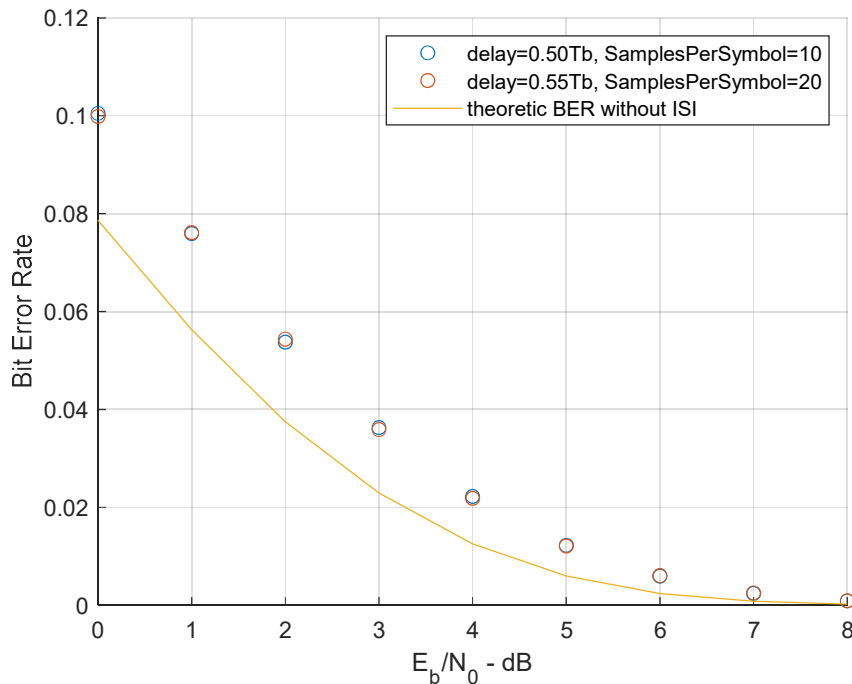
改变采样速率，可得到不同的时延估计，对应不同的系统误码率。

2 仿真实验设计



4、仿真实验结论

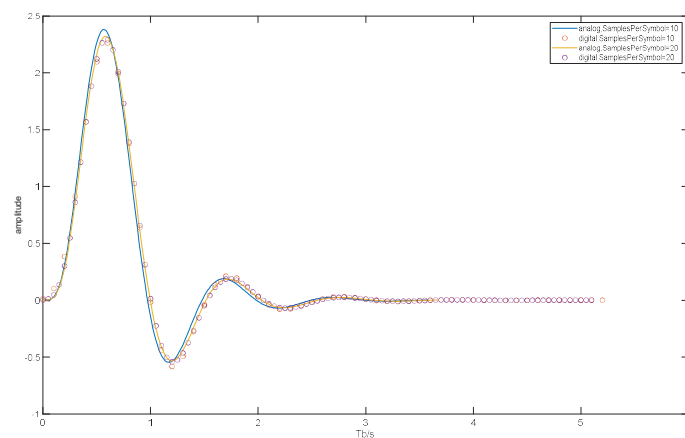
代码运行结果如图所示：



可看出修改每符号采样数后对时延的估计发生变化。可以推知，对于实际信道，更高的采样率可以带来更准确的时延估计，降低误码率。

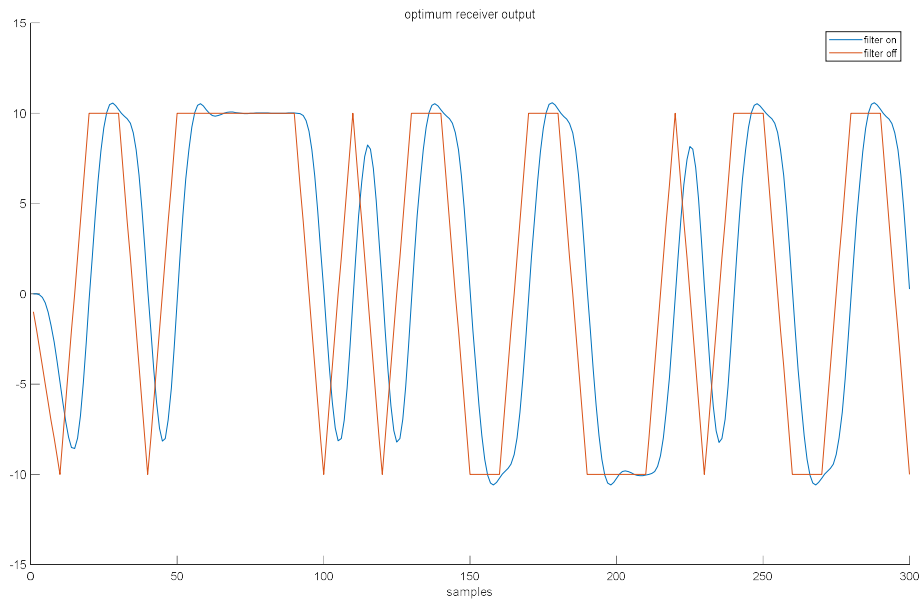
本实验将信道建模为数字滤波器，实验中提高采样率是否能降低误码率需要根据模型分析。

本实验信道采用 5 阶巴特沃斯滤波器，截止频率=2/每符号采样数 \times 采样率=2 \times 符号速率。可通过双线性变换法得到对应的模拟滤波器。取采样周期为 1，则数字滤波器响应等于模拟滤波器在整数时刻采样结果。更高的采样率等效于对模拟滤波器的响应进行更密集的采样。采样数为 10、20 时，信道响应为：



可看出采样率变化时，由于双线性变换存在畸变，信道响应会出现少许变化。

观察信道对最佳接收判决的影响：



可看出由于存在 ISI，接收端输出波形会受到之前码元的影响，不同码元的最佳判决时刻时延可能不同。实际的最少误码时延应为大量码元时延的统计值。

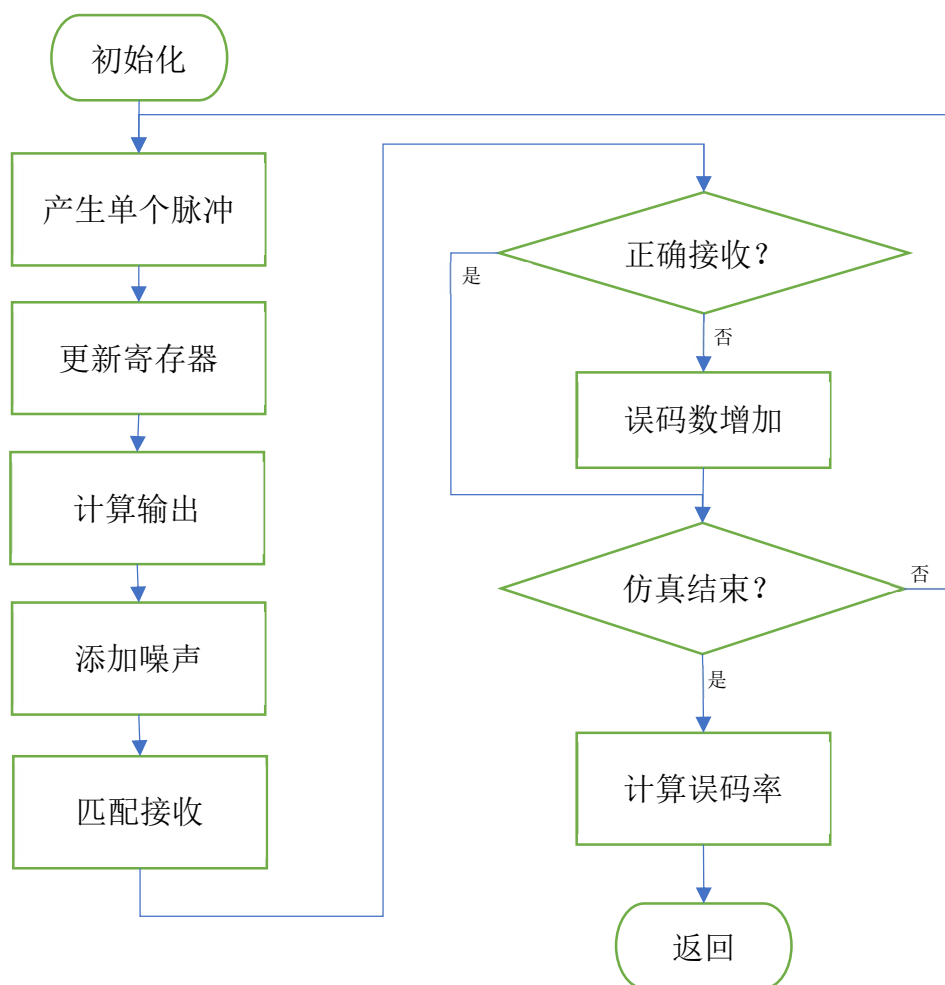
由上述分析，最少误码时延的理论值需结合信道响应、脉冲波形及码间串扰进行计算，应较为复杂。由于更高的采样率提供更多的判决时刻，故可认为其有利于减小误码率。同时应注意到此时的误码主要由码间干扰造成，增大采样率对误码率的影响并不明显。

实验 1-3

1 基本原理

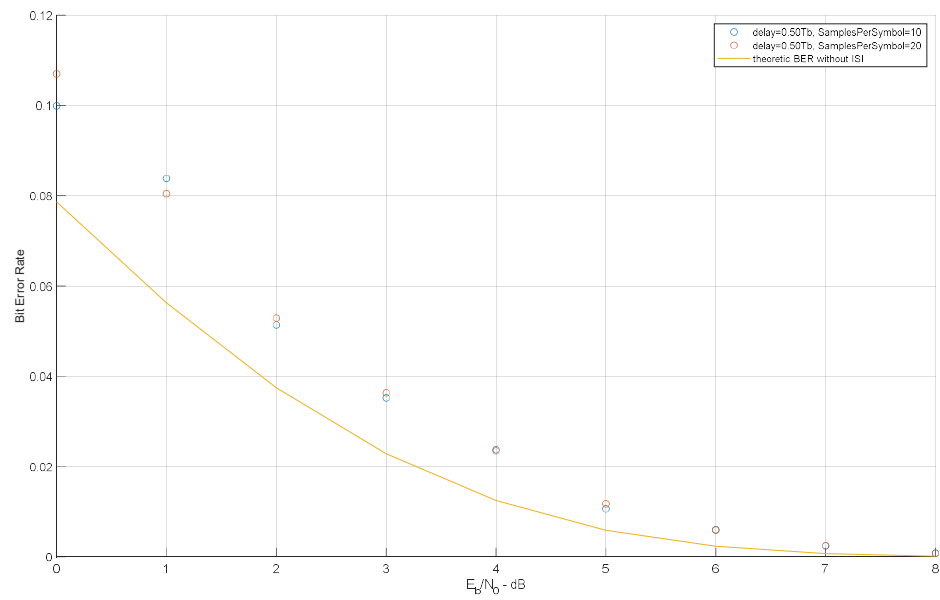
信道特性可建模为滤波器。数字滤波器输入输出可由差分方程描述，通过延时单元、加法器、乘法器实现。系统可将数据分块，以块为单位进行数据处理，调节块的大小可实现对存储资源和计算资源的取舍。实验要求逐个符号仿真，可通过将滤波器函数换为逐个符号处理，或直接以基本单元实现滤波器函数的方式来完成。本实验选择后者，以加深对数字滤波器结构的理解。IIR 滤波器的实现结构有直接 I 型、直接 II 型、级联型、并联型等。本实验选择直接 II 型实现。

2 仿真实验设计



4、仿真实验结论

基于 1-2 程序，逐符号仿真，结果如图所示：



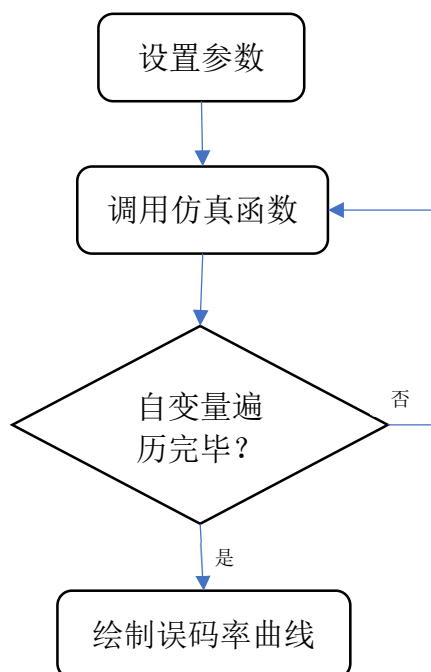
可看出结果与块级联方式基本一致。

实验 1-4

1 基本原理

QDPSK 将符号调制为载波的相位差，以误码率为代价换取了更好的抗相位误差性能。可将 QPSK 视为 2 路正交 BPSK 信号调制解调，分别对应星座图实轴和虚轴。

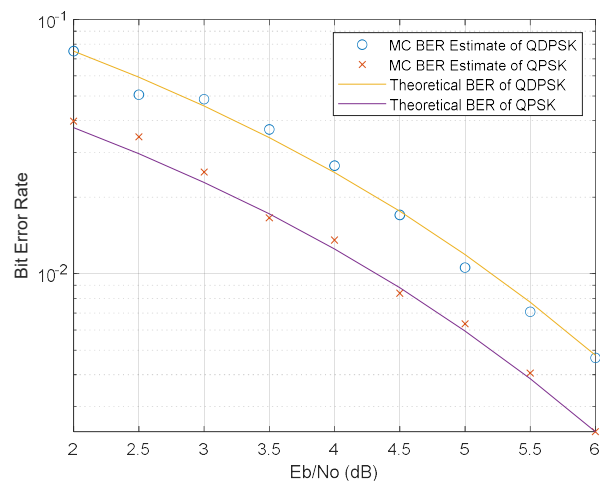
2 仿真实验设计



4、仿真实验结论

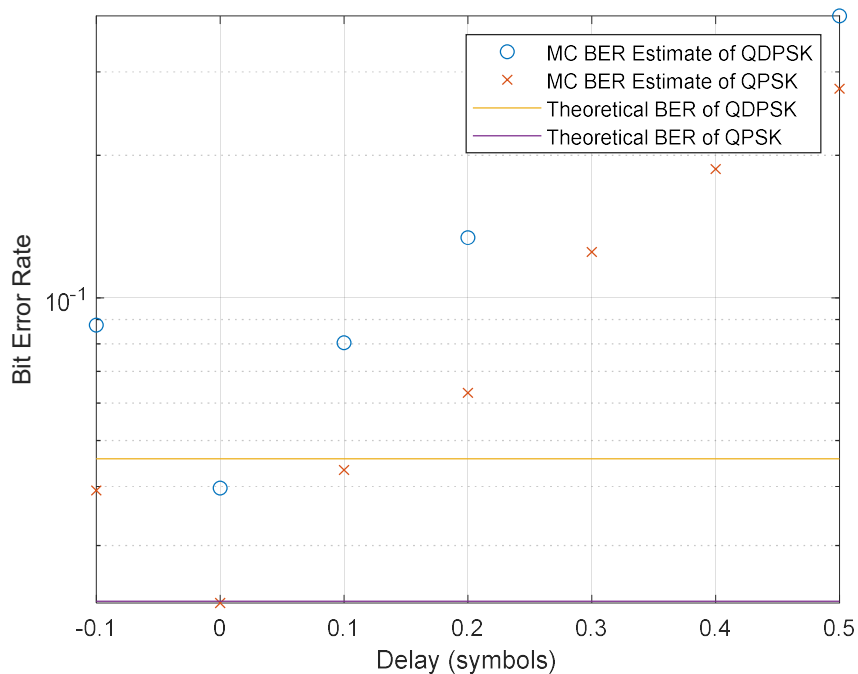
1)

误码率仿真结果如图所示：



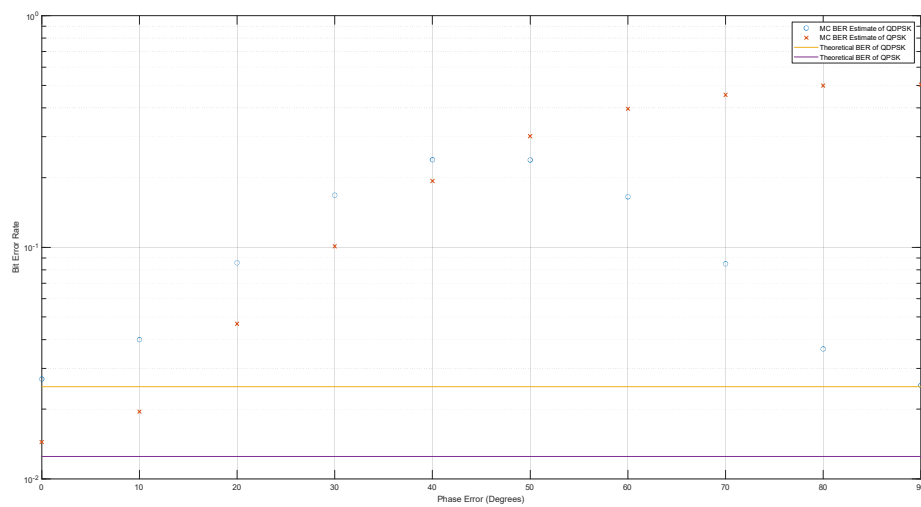
可知 QDPSK 系统的误码率高于 QPSK，差距不大于 3dB，且在误码率较小时差距接近 3dB。

时延仿真结果如图所示：



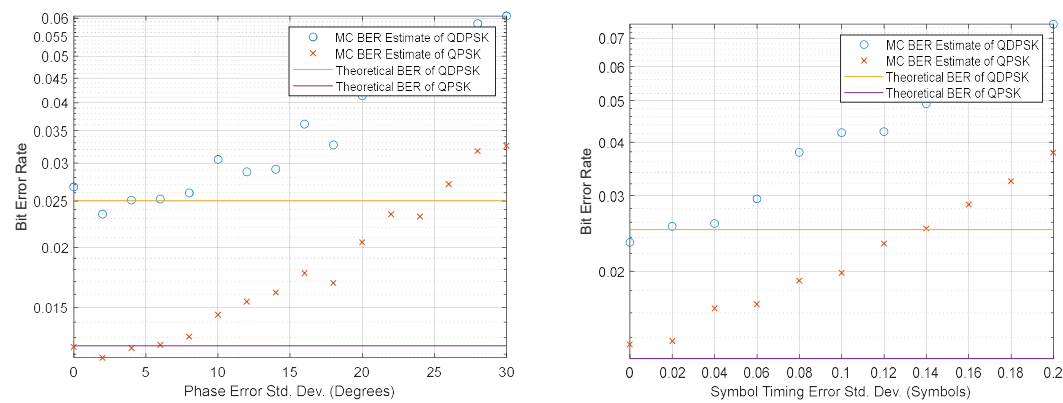
可知 QDPSK 和 QPSK 系统抗码元同步误差的性能相近。

相位同步误差仿真结果如图所示：



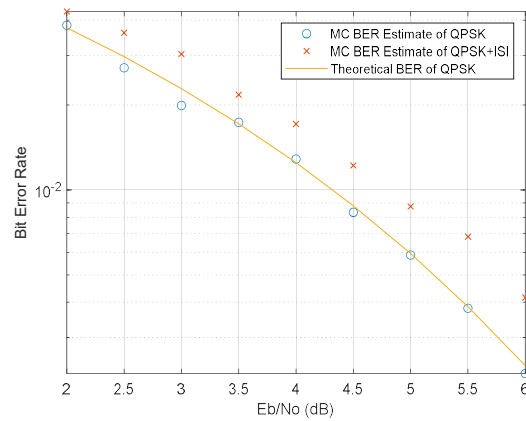
可知 QDPSK 在误差超过 45° 时性能优于 QPSK

相位及符号抖动仿真结果如图所示：



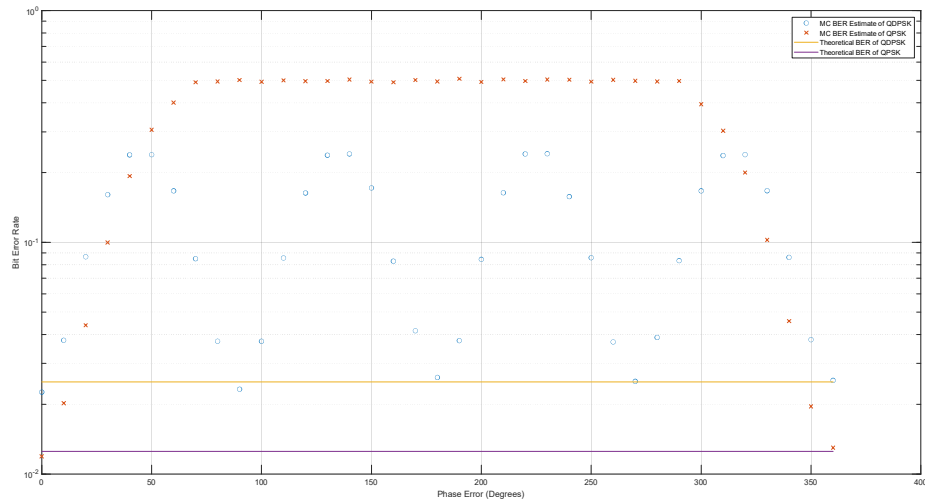
可知两系统在此方面性能相近。

2) ISI 仿真结果如图所示：



信道设置为 5 阶巴特沃斯低通滤波器，对基带信号滤波，带宽设置为 2 倍符号速率。

3) 相位同步误差在 $0\sim360^\circ$ 仿真结果如图所示：



可看出 QDPSK 误码率以 90° 为周期波动, QPSK 仅在 0° 附近误码率较低。QDPSK 抗相位同步误差性能优于 QPSK。