

# 直接序列扩频系统的 Matlab/Simulink 仿真

**摘要：**本文利用 Matlab/Simulink 对直接序列扩频系统进行了仿真，对其原理进行了相关的说明。读者可以通过对本文的阅读对直接序列扩频的相关原理有一定的了解。

**关键字：** 扩频通信 直接序列扩频

## 一、 仿真的意义

随着信息技术的发展，通信技术变得越来越复杂，技术更新的周期也越来越短。对于大部分学者，特别是我们学生来说，在学习通信技术时，若对每一个系统都要实体研究是不现实的。此时通信系统仿真对我们来说可以说是必不可少的。通过建立相应的通信系统的模型，对其进行仿真，可以使我们把琐碎的知识联系在一起，形成一个个通信系统的概念，可以让我们对各个知识点的原理有更加深刻的理解和掌握。

## 二、 直接序列扩频的原理

扩频通信，即扩展频谱通信(Spread Spectrum Communication)是将待传送的信息数据用伪随机编码(扩频序列: Spread Sequence)调制，实现频谱扩展后再传输而接收端则采用相同的编码进行解调及相关处理，恢复原始信息数据。扩频通信具有抗干扰能力强、抗噪声、保密性强、功率谱密度低，具有隐蔽性和较低的截获概率、可多址复用和任意选址、高精度测量等优点。

根据扩展频谱方式的不同，可以将扩频通信系统分为直接序列扩频(Direct Sequence Spread Spectrum)工作方式，简称直扩(DS)方式；跳变频率(Frequency Hopping)工作方式，简称跳频(FH)方式；跳变时间(Time Hopping)工作方式，简称跳时(TH)方式；宽带线性调频(Chirp Modulation)工作方式，简称 Chirp 方式和各种混合方式。

直接序列(DS-Direct Scquency)扩频，就是直接用具有高码率的扩频码序列在发端去扩展信号的频谱，而在收端，用相同的扩频码序列去进行解扩，把展宽的扩频信号还原成原始的信息。直接序列扩频是扩频通信系统最基本的工作方式。

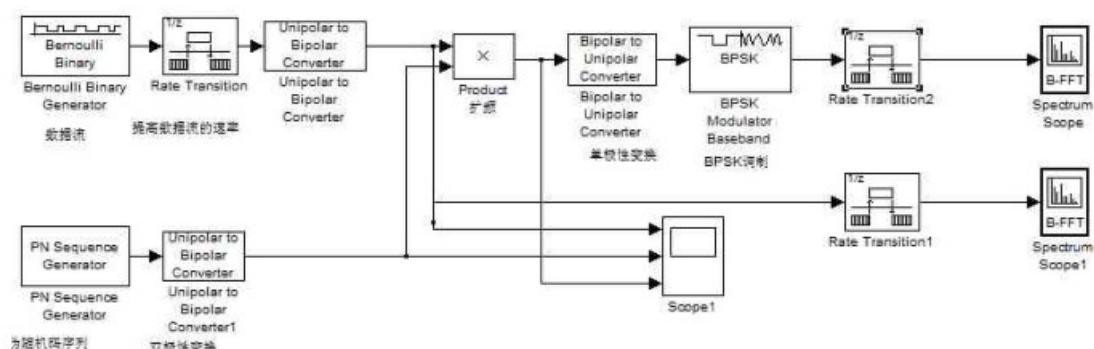
假设信源序列对应的双极性波形为  $a(t)$ ，其电平取值为  $\pm 1$ ，码元速率为  $R_{abps}$ ，码元宽度为  $T_a=1/R_a$ /秒。扩频所使用的伪随机序列  $c(t)$ 也是电平取值为  $\pm 1$  的双极性波形，伪随机序列(PN 序列)的码元也称为码片(chip)，码片速率设为  $R_{cchip}/s$ ，对应的码片宽度就是  $T_c=1/R_c$ /秒。对于双极性波形而言，扩频过程等价于数据流  $a(t)$ 与伪随机序列  $c(t)$ 相乘的过程，扩频输出序列设为  $d(t)$ ，也是取值为  $\pm 1$  的双极性波形，其速率等于码片速率。扩频序列经过调制后得到调制输出信号  $s(t)$ 送入信道。对于 BPSK 调制，发送的信号就相当于是数据流与伪随机序列相乘后再乘于一个高频的余弦信号。在接收端，接收到的信号中有包含了有用信号  $s(t)$ 及各种干扰  $J(t)$ 和噪声  $n(t)$ 。由于接收端采用相关解扩，即将  $s(t)J(t)n(t)$ 和本地 PN 序列  $c(t)$ 相乘，只有有用信号的频谱能够被还原为窄带信号，其他的噪声和干扰的频谱只会被展宽，当信号通过窄带滤波器后只有一小部分被展宽的频谱会混进有用信号中，由此大大增强了其抗干扰的能力。

## 三、仿真的系统与结果

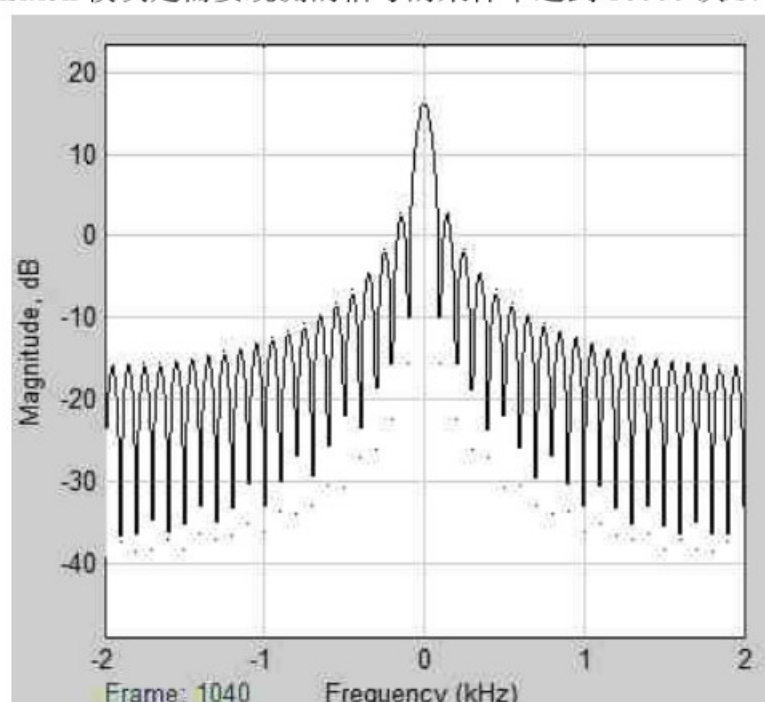
此处是对直接序列扩频通信系统的仿真。假设该系统以 BPSK 方式调制，数

据传输率为 100bps，扩频码片速率为 2000chip/s，信号通过 AGWN 信道后受到了频率为 200Hz 的正弦信号的干扰，建立系统模型并观察各个阶段信号的波形与频谱，测试传输信号的误码率。

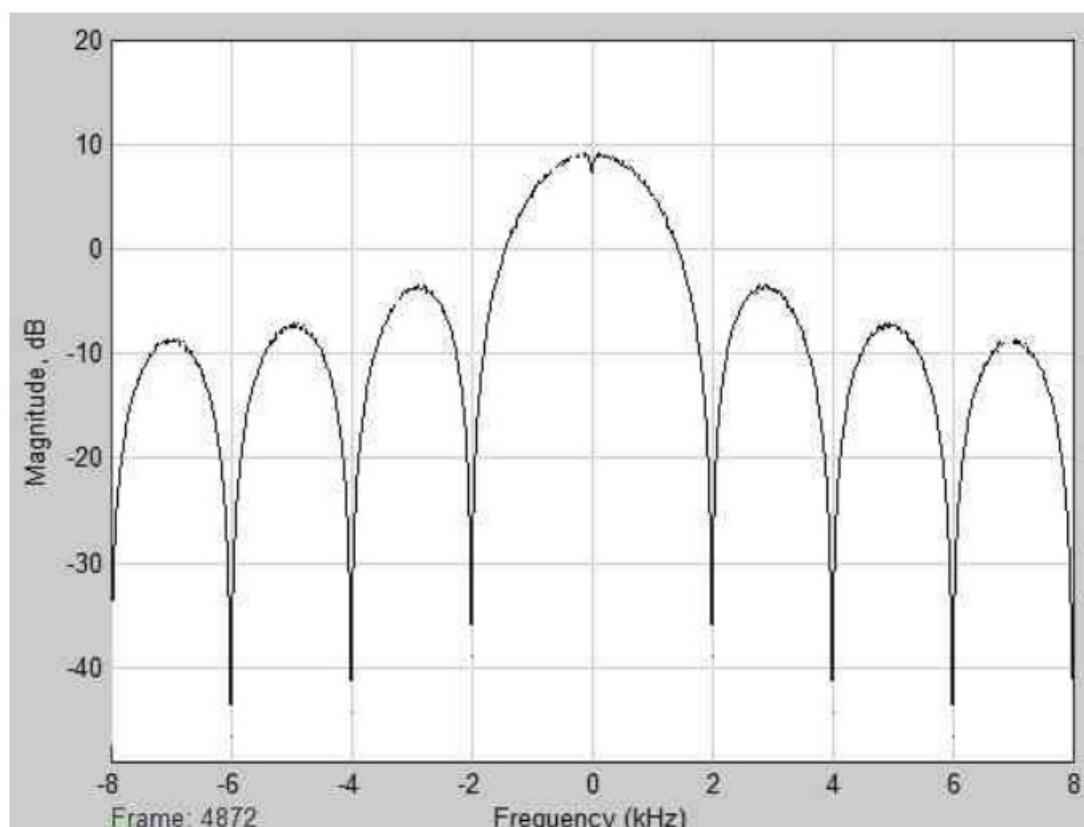
发射端的仿真模型如下：



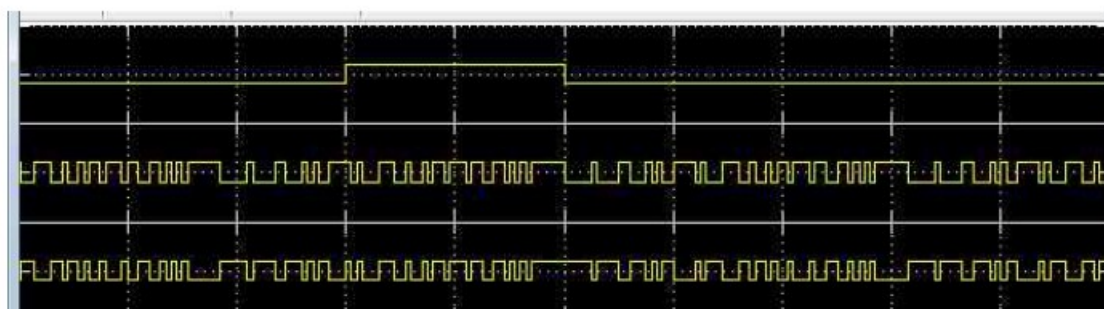
在上面的模型中 Bernoulli Binary Generator 即伯努力二进制发生器，产生的数据流相当于信源，其采样时间（sample time）设置为 1/100，及数据流的传输速率为 100bps。PN Sequence Generator 用于产生 PN 序列，设置其采样时间（sample time）为 1/2000，即扩频码片速率为 2000chip/s。由于相乘时数据流的传输速率要与扩频码片序列相同，因此可用 Rate Transition 提升数据流的传输速率，将其 out put sample time 设置为 1/2000。Unipolar to Bipolar Converter 模块用于将单极性码变为双极性码，Bipolar to Unipolar Converter 则刚好相反。乘法器输出的就是扩频序列。通过示波器 Scope1 可以观察原信息序列、PN 序列和扩频序列。为了方便观察原来信号和扩频后信号的频谱变化，我们希望频谱观察范围达到 8kHz，需要被观察信号的采样率达到 16000 次/s，因此在模型中使用 Rate Transition 模块是需要观测的信号的采样率达到 16000 次/s。



原数据信号的频谱



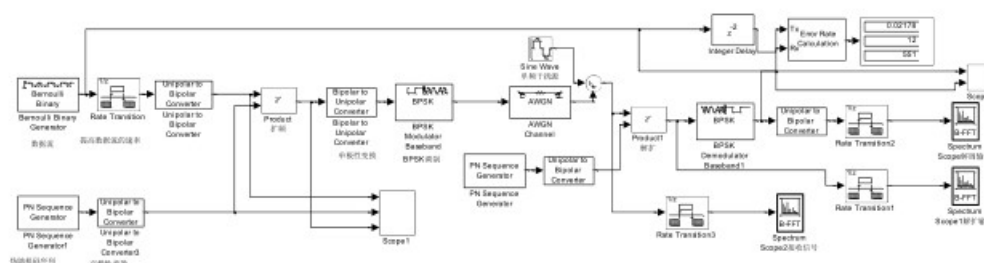
扩频信号的频谱



三路信号的时域波形

由频谱图可见，原数据信号的频谱被展宽了，功率峰值下降，增强了抗干扰的能力，降低了被截获率。

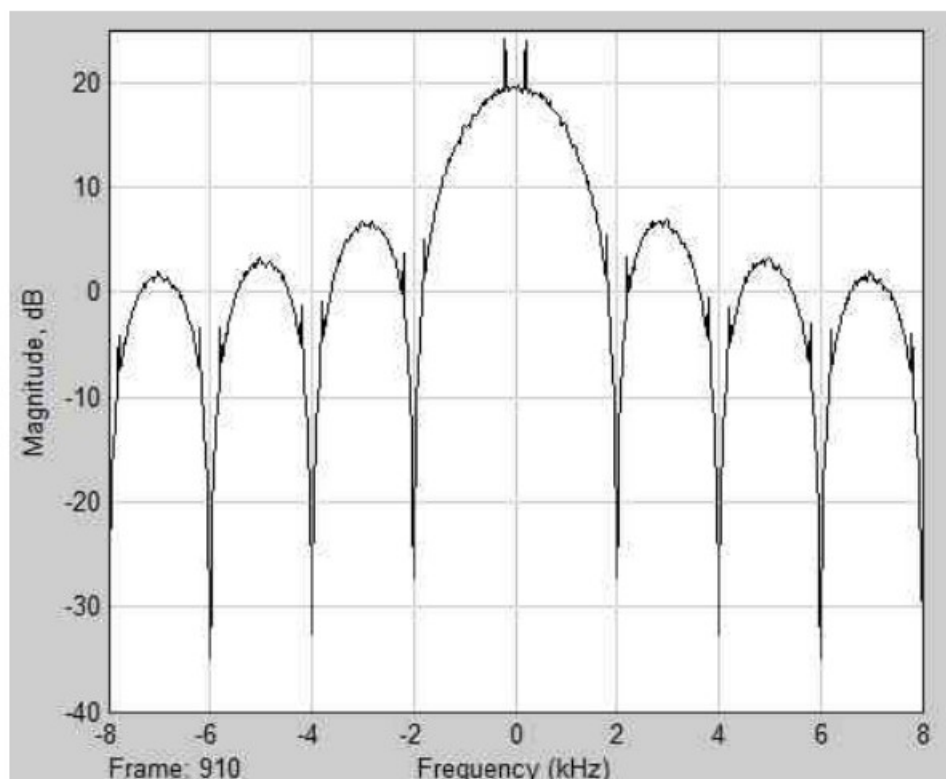
接收端的模型如下：



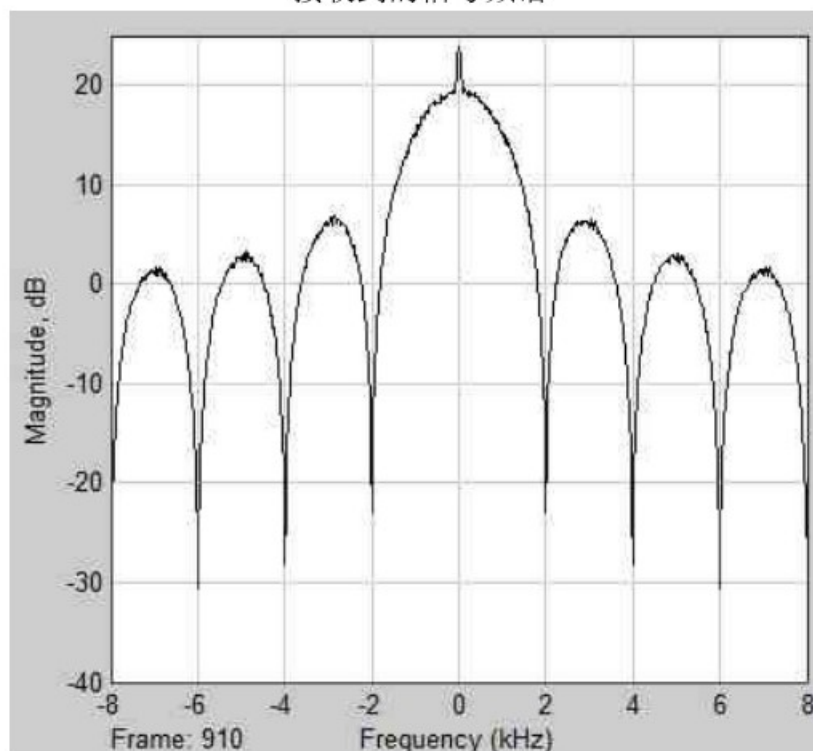
其中从解扩开始为接收端。

AWGN 为高斯白噪声信道，设置其噪声的均值为 10。正弦信号发生器产生频率为 200Hz 的单频干扰。PN Sequence Generator 为本地 PN 序列，是与发射机中的 PN 序列完全相同的。从加法器出来的信号即为接收到的信号，其中包含有用

信号，噪声和干扰，该信号和本地 PN 序列相乘进行解扩，Scope1 频谱仪中的频谱就是解扩后的接收信号的频谱，其中有用信号被还原为窄带信号，噪声和干扰的频谱反而被展宽。利用 Error Rate Calculation 模块对误码率进行测试，其中 Tx 为发送端，Rx 为接收端，中间加入 2 个数据码元的延迟是为了补偿接收延迟。BPSK Demodulator Baseband1 为 BPSK 解调器。

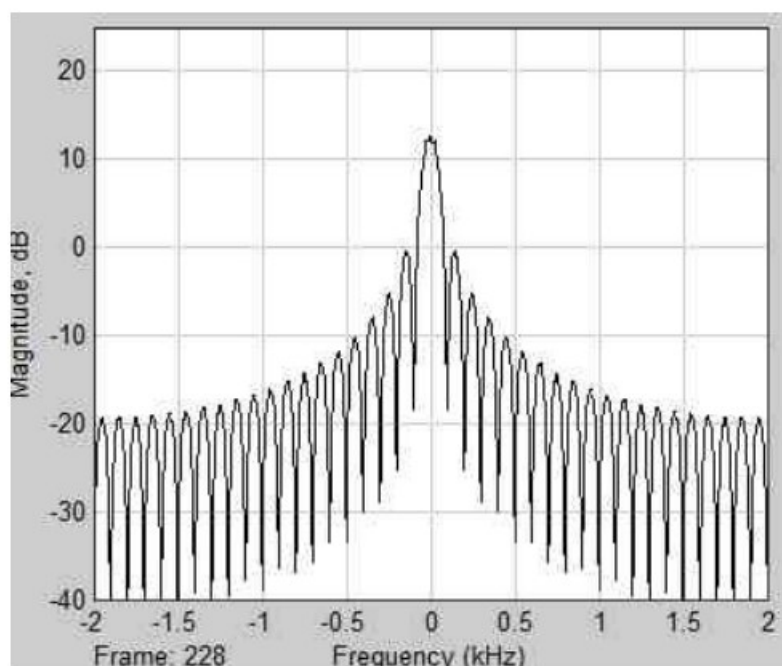


接收到的信号频谱

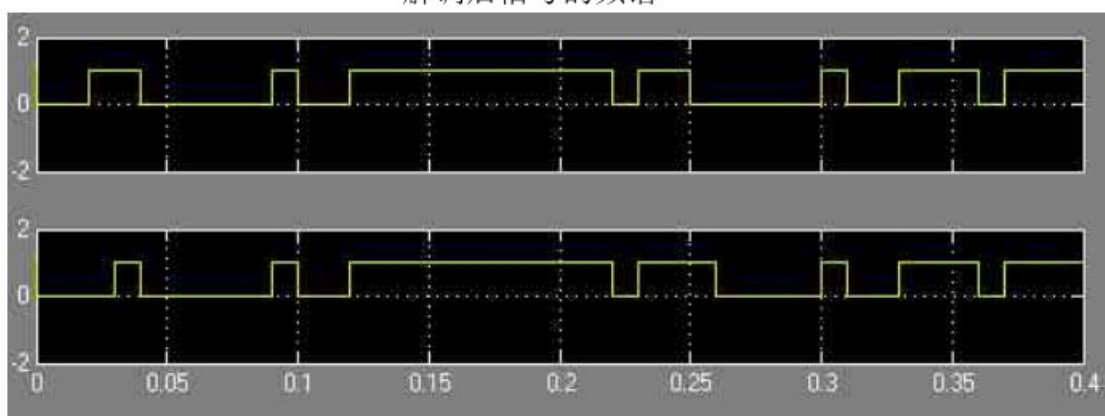


解扩后信号的频谱





解调后信号的频谱



发送序列和解调之后的序列

结合发送端扩频信号的频谱，可以看到，发送端信号的功率峰值在接收信号功率峰值之下，说明有用信号淹没在了噪声之中，大大增强了抗干扰能力。从解扩后的频谱可以看出，只有有用信号的频谱被还原成窄带信号，其他信号的频谱反而被展宽。从误码率的统计来看，当信号受到 200Hz 单频正弦信号和噪声均值为 10 的噪声的干扰时，误码率约为 0.025，在实际通信中是远远达不到要求的。

### 三、 总结

对通信系统进行仿真，可以帮助我们更加理解相关技术的原理、特点等相关知识，帮助我们建立起系统的概念，通过将一个个模块结合起来形成一个系统，可以提高我们搭建系统模型的能力。通过对直接序列扩频系统的仿真，使我们更加理解了直接序列扩频的相关原理，对其特点有了更加深刻的体会。在今后的学习研究中，在实际条件不允许的情况下，我们应该多利用系统仿真的方法来学习相关的内容，加深对原理的理解，提高自己的能力。

### 四、 参考文献

①扩频通信课件 ②邵玉斌 Matlab/ Simulink 通信系统建模与仿真实例分析

```
set_param(0, 'CharacterEncoding', 'ISO-8859-1')
```