

直接序列扩频通信系统的设计与实现

摘要： 直接序列扩频通信系统（DS-CDMA）因其抗干扰性强、 隐蔽性好、易于实现码分多址（CDMA）、抗多径干扰、直扩通信速率高等众多优点，而被广泛应用于许多领域中。本设计中首先对于直接扩频及PSK调制解调基本原理进行研究，实际包括抽样定理、快速傅里叶变换FFT、数字滤波器原理等。然后对系统进行抽象建模，并完成各部分功能描述及实现算法研究。接着完成系统程序编写，程序主要包含两类：系统设计和工具设计。其中主要包含随机源信号生成,m序列生成，直接扩频，PSK调制，高斯白噪声信道，带通滤波，PSK解调，低通滤波，抽样量化，解扩，抽样，各频谱及波形图绘制，误码率计算等部分。最后根据需求设置参数，运行程序，对于实验结果进行分析。

关键词：DS扩频；Matlab仿真；PSP调制解调；

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 背景	1
1.2 目的和意义	1
1.3 主要内容	2
第 2 章 直接扩频通信系统的理论基础.....	3
2.1 直接序列扩频的概念及理论基础.....	3
2.1.1 直接序列扩频的概念	3
2.1.2 扩频通信的理论基础	3
2.1.3 直接序列扩频的基本原理	4
2.1.4 M 序列	7
2.2 直扩系统的性能	10
2.2.1 直扩系统的抗干扰性	10
2.2.2 直扩信号的抗截获性	10
第 3 章 直接序列扩频通信系统的 MATLAB 仿真	11
3.1 MATLAB 简介	11
3.2 设计思路及模型抽象	12
3.3 系统仿真流程图	13
3.3.1 发射机.....	14
3.3.1 接收机.....	14
3.4 MATLAB 仿真关键程序及实现	15
3.4.1 工具设计.....	15
3.4.2 M 序列	18
3.4.3 系统主程序实现	19
3.5 结果分析	22
3.4.1 无白噪声通信系统	22
3.4.1 高斯白噪声信道系统分析	26
第 4 章 结束语.....	30
参考文献.....	31
附件:	32

第1章 绪论

1.1 背景

直接序列扩频(DSSS— Direct Sequence Spread Spectrum)技术是当今人们所熟知的扩频技术之一。这种技术是将要发送的信息用伪随机码(PN 码)扩展到一个很宽的频带上去,在接收端,用与发端扩展用的相同的伪随机码对接收到的扩频信号进行相关处理,恢复出发送的信息。

它是二战期间开发的,最初的用途是为军事通信提供安全保障,是美军重要的无线保密通信技术。这种技术使敌人很难探测到信号。即便探测到信号,如果不知道正确的编码,也不可能将噪声信号重新汇编成原始的信号。有关扩频通信技术的观点是在1941年由好莱坞女演员Hedy Lamarr 和钢琴家 George Antheil 提出的。基于对鱼雷控制的安全无线通信的思路,他们申请了美国专利#2.292.387。不幸的是,当时该技术并没有引起美国军方的重视,直到十九世纪八十年代才引起关注,将它用于敌对环境中的无线通信系统。

直序扩频解决了短距离数据收发信机、如:卫星定位系统(GPS)、3G 移动通信系统、WLAN (IEEE802.11a, IEEE802.11b, IEEE802.11g)和蓝牙技术等应用的关键问题。扩频技术也为提高无线电频率的利用率(无线电频谱是有限的因此也是一种昂贵的资源提供帮助。

直序扩频通信系统在发端输入的数字信号信息,先由扩频码发生器产生的扩频码序列去调制数字信号以展宽信号的频谱,扩频码序列一般采用PN 码。展宽后的信号再调制到射频发送出去。调制多采用 BPSK、DPSK、MPSK 等调制方式。

在接收端收到的信号进行解调(一般采用相干解调)。然后由本地产生的与发端相同的扩频码序列去相关解扩。恢复成原输入的信息输出。

由此可见,一般的扩频通信系统都要进行两次调制和相应的解调。一次调制为扩频调制,二次调制为射频调制,以及相应的解扩和射频解调。

与一般通信系统比较,扩频通信就是多了扩频调制和解扩部分。

1.2 目的和意义

本文所选课题为直接序列扩频通信系统的设计和仿真,直接扩频通信系统具有以下优点和不足。

1) 抗干扰性强

抗干扰是扩频通信主要特性之一,比如信号扩频宽度为100倍,窄带干扰基本上不起作用,而

宽带干扰的强度降低了 100 倍，如要保持原干扰强度，则需加大 100 倍总功率，这实质上是难以实现的。因信号接收需要扩频编码进行相关解扩处理才能得到，所以即使以同类型信号进行干扰，在不知道信号的扩频码的情况下，由于不同扩频编码之间的不同的相关性，干扰也不起作用。正因为扩频技术抗干扰性强，美国军方在海湾战争等处广泛采用扩频技术的无线网桥来连接分布在不同区域的计算机网络。

2) 隐蔽性好

因为信号在很宽的频带上被扩展，单位带宽上的功率很小，即信号功率谱密度很低，信号淹没在白噪声之中，别人难以发现信号的存在，加之不知扩频编码，很难拾取有用信号，而极低的功率谱密度，也很少对于其他电讯设备构成干扰。

3) 直扩通信速率高

直扩通信速率可达 2M, 8M, 11M, 无须申请频率资源，建网简单，网络性能好。

4) 有很强的保密性能。

对于直扩系统而言，射频带宽很宽，谱密度很低，甚至淹没在噪音中，就很难检查到信号的存在。由于直扩信号的频谱密度很低，直扩系统对其它系统的影响就很小。

本设计为掌握利用计算机来加深对所学知识的理解和掌握，通过 MATLAB/Simulink 仿真平台，运用所学的理论和方法进行仿真、解决问题。探究直接扩频通信系统的性能及痛惜各部分信号的波形和频率特征。

1.3 主要内容

(1) 对于直接扩频及 PSK 调制解调基本原理进行研究，实际包括抽样定理、快速傅里叶变换 FFT、数字滤波器原理等。

(2) 对系统进行抽样建模，并完成各部分功能描述及实现算法研究。

(3) 程序编写，包括主系统函数，各部分子系统函数及工具设计。其中主要包含随机源信号生成，m 序列生成，直接扩频，PSK 调制，高斯白噪声信道，带通滤波，PSK 解调，低通滤波，抽样量化，解扩，抽样，各频谱及波形图绘制，误码率计算等部分。

(4) 设置参数，运行程序，对于实验结果进行分析。

第2章 直接扩频通信系统的理论基础

2.1 直接序列扩频的概念及理论基础

2.1.1 直接序列扩频的概念

所谓直接序列(DS: Direct Sequence)扩频, 就是直接用具有高码率的扩频码序列在发送端去扩展信号的频谱。而在接收端, 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。

2.1.2 扩频通信的理论基础

长期以来, 人们总是想方设法使信号所占的频谱尽量窄, 以充分提高十分宝贵的频率资源利用率。但扩频通信在发送端用扩频码调制, 使信号所占的频带宽度远大于所传信息必须的带宽, 在接收端采用相同的扩频码进行相关解扩以恢复出所传信息数据。为什么要用宽频带信号来传输窄带信息呢? 主要是为了通信的安全可靠性。这可用信息论和抗干扰理论的基本观点来说明:

根据香农(C.E.Shannon)在信息论研究中总结出的信道容量公式, 香农公式:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2-1)$$

式中: C--信息的传输速率(信道容量) 单位 b/s; S--信号平均功率单位 W; B--频带宽度 单位 Hz; N--噪声平均功率 单位 W。

由式中可以看出:

为了提高信息的传输速率C, 可以从两种途径实现, 既加大带宽B 或提高信噪比 S/N。换句话说, 当信号的传输速率C 一定时, 信号带宽 B 和信噪比 S/N 是可以互换的, 即增加信号带宽可以降低对信噪比的要求, 当带宽增加到一定程度, 允许信噪比进一步降低, 有用信号功率接近噪声功率甚至淹没在噪声之下也是可能的。扩频通信就是用宽带传输技术来换取信噪比上的好处。

柯捷尔尼可夫在其潜在抗干扰性理论中得到如下关于信息传输差错概率的公式

$$p_e \approx f \left(\frac{E}{n_0} \right) \quad (2-2)$$

此公式指出, 差错概率Pe 是信号能量 E 与噪声功率谱密度 n_0 之比的函数。设信息持续时间为

T，或数字信息的码元宽度为T，则信息的带宽B_m为

$$B_m = \frac{1}{T} \quad (2-3)$$

信号功率S为

$$S = \frac{1}{T} \quad (2-4)$$

已调（或已扩频）信号的宽度为B，则噪声功率为

$$N = n_0 B \quad (2-5)$$

将式（4-3）~（4-5）代入式（4-2），可得

$$P_e \approx f\left(\frac{ST}{N} \cdot B\right) = f\left(\frac{S}{N} \cdot \frac{B}{B_m}\right) \quad (2-6)$$

上面公式指出，差错概率 P_e 是输入信号与噪声功率之比（S/N）和信号带宽与信息带宽之比（B/B_m）二者乘积的函数，信噪比与带宽是可以互换的。它同样指出了用增加带宽的方法可以换取信噪比上的好处。

综上所述：将信息带宽扩展 100 倍，甚至用 1000 倍以上的带宽信号来传输信息，就是为了提高通信的抗干扰能力，即在强干扰条件下保证可靠安全的通信。这就是扩频通信的基本思想和理论依据。

2.1.3 直接序列扩频的基本原理

所谓直接序列扩频（DS），就是直接用具有高速率的扩频码序列在发送端去扩展信号的频谱。而接收端，用相同的扩频码序列进行解扩，把展宽的扩频信号还原成原始信息。图2-1 示出了直接扩频通信系统的原理方框图

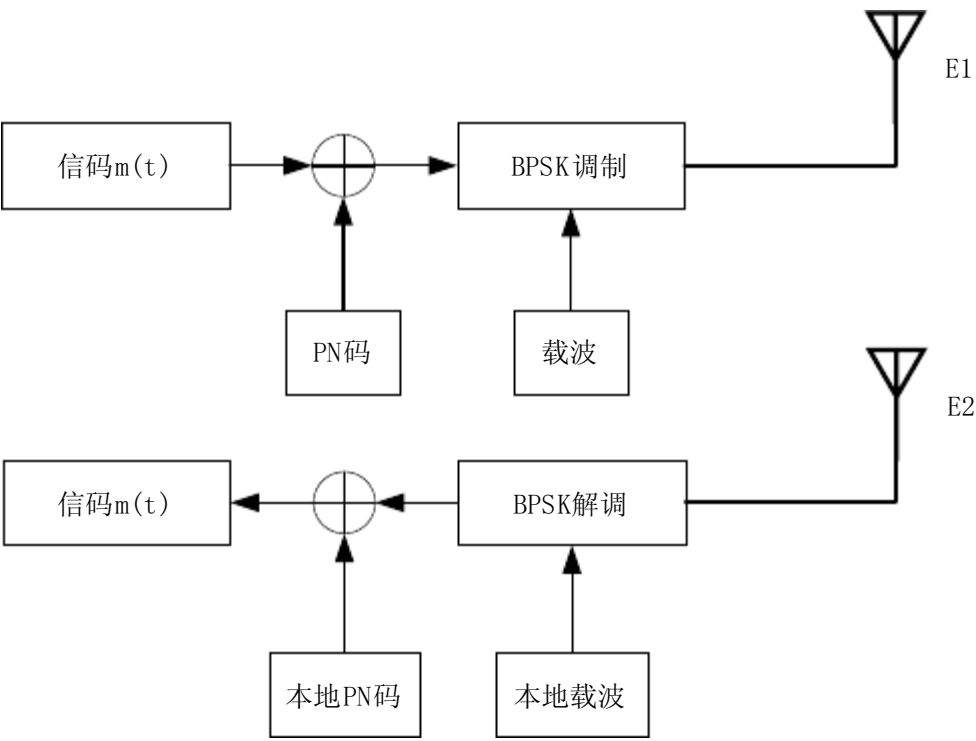


图 2-1 直扩通信系统的组成框图

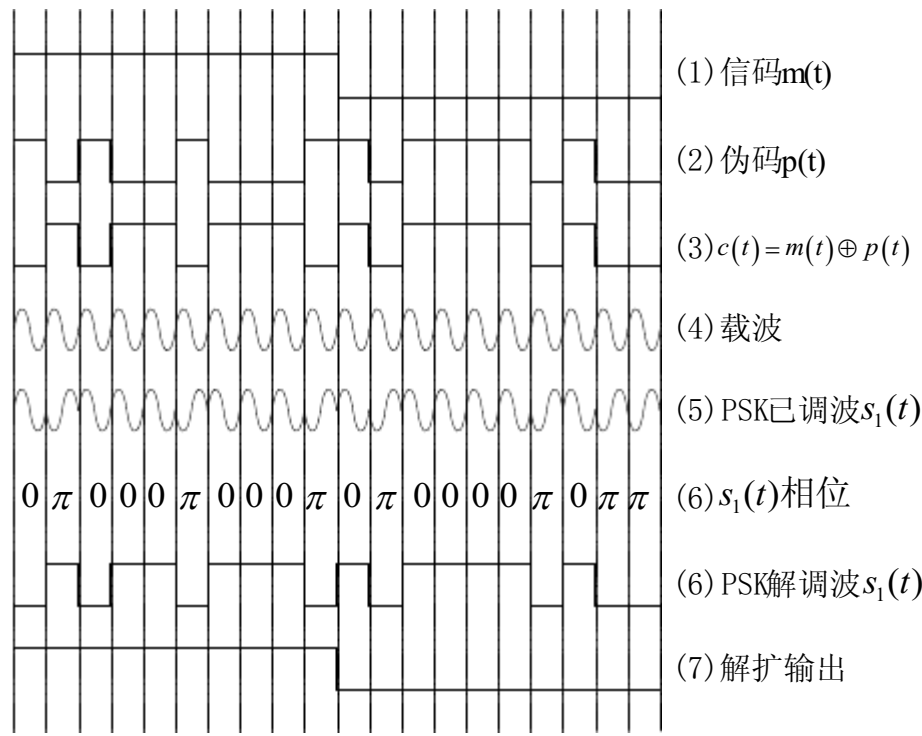


图 2-2 直扩通信系统的主要相位或波形

如图 2-2 在发送端输入信息码元 $m(t)$ ，它是二进制数据，图中为 0、1 两个码元，其码元宽度为 T_b 。加入扩频解调器，图中为模 2 加法器，扩频码为一个伪随机码 (PN 码)，记作 $p(t)$ 。伪码的波形如图 2-2 中的第 (2) 个波形，其码元宽度为 T_p ，且取 $T_b = 16T_p$ 。通常在 DS 系统中，伪码的速率 R_p 远远大于信码速率 R_m ，即 $c(t) = m(t) \oplus p(t)$ $R_p \gg R_m$ ，也就是说，伪码的宽度 T_p 远

远小于信码的宽度 T_b ，即 $T_p \ll T_b$ ，这样才能展宽频谱。模2加法器的运算规则可用下式表示

$$c(t) = m(t) \oplus p(t) \quad (2-7)$$

当 $m(t)$ 与 $p(t)$ 符号相同时， $c(t)$ 为0；而当 $m(t)$ 与 $p(t)$ 不同时，则为1。 $c(t)$ 的波形如图4-2所示中的第（3）个波形。由图可见，当信码 $m(t)$ 为0时， $c(t)$ 与 $p(t)$ 相同；而当信码 $m(t)$ 为1时，则 $c(t)$ 为 $p(t)$ 取反既是。显然，包含信码的 $c(t)$ 其码元宽度已变成了 T_p ，即已进行了频谱扩展。其扩展处理增益也可用下式表示

$$G_p = 10 \lg \frac{T_b}{T_p} \quad (2-8)$$

在 T_b 一定的情况下，若伪码速率越高，即伪码宽度（码片宽度） T_p 越窄，则扩频处理增益越大。

经过扩频，还要载频调制，以便信号在信道上有效的传输。图中采用二相相移键控方式。调相器可由环行调制器完成，即将 $c(t)$ 与载频 $A \cos \omega_1 t$ 相乘，输出为 $s_1(t)$ 。即

$$s_1(t) = c(t) A \cos \omega_1 t \quad (2-9)$$

式中，

$$c(t) = \begin{cases} 1, & m(t) = 0; \\ -1 & m(t) = 1; \end{cases} \quad (2-10)$$

因此，经过扩频和相位调制后的信号 $s_1(t)$ 为

$$s_1(t) = A c(t) \cos \omega_1 t = \begin{cases} A \cos \omega_1 t \\ -A \cos \omega_1 t \end{cases} \quad (2-11)$$

由上面讨论可知，经过扩频调制信号 $c(t)$ 可看作只取 ± 1 的二进制波形，然后对载频进行调制，这里是采用调相（BPSK）。所谓调制，就是指相乘过程，可采用相乘器，环行调制器（或平衡调制器），最后得到的是抑制载波双边带振幅调制信号。这里假定平衡调制器是理想对称，码序列取 $+1$ 、 -1 的概率相同，即调制信号无直流分量，这样平衡调制器输出的已调波中，无载波分量。 $s_1(t)$

通过发射机中推动级、功放和输出电路加至天线发射出去。

通常载波频率较高，或者说载波周期 T_c 较小，它远小于伪码的周期 T_p ，即满足 $T_c \ll T_p$ 。但图 2-2 中（4）示出的载波波形 T_c 的宽度为 T_p ，这是为了便于看清楚一些，否则要在一个 T_p 期间内画几十个甚至几百个正弦波。对于 PSK 来说，主要是看清楚已调波与调制信号之间的相位关系。图 4-2 中的第（5）个图为已调波 $s_1(t)$ 的波形。这里，当 $c(t)$ 为一码时，已调波与载波取反相；而当 $c(t)$ 为 0 码时，取同相。已调波与载波的相位关系如图 4-2 中的第（6）个图所示。

接收端的工作原理：

假设发射的信号经过信道传输，不出现差错，经过接收机前端电路（包括输入电路、高频放大器等），输出仍为 $s_1(t)$ 。这里不考虑信道衰减问题，因为对 PSK 调制信号而言，重要的是相位问题，这里的假定对分析工作原理是不受影响的。相关器完成相干解调和解扩。接收机中的本振信号频率与载波相差为一个固定的中频。假定收端的伪码（PN）与发端的 PN 码相同。接收端本地调相情况与发端相似，这里的调制信号是 $p(t)$ ，即调相器输出信号 $s_2(t)$ 的相位仅取决于 $p(t)$ ，当 $p(t)=1$ 时， $s_2(t)$ 的相位为 π ；当 $p(t)=0$ 时， $s_2(t)$ 的相位为 0。信号 $s_2(t)$ 的相位如图 4-2 中（7）所示。

相关器的作用在这里可等效为对输入相关器的 $s_1(t)$ 、 $s_2(t)$ 相位进行模 2 加。对二元制的 0、 π 而言，同号模 2 加为 0，异号模 2 加为 π 。因此相关器的输出的中频相位如图 4-2 中的（8）所示。然后通过中频滤波器。滤除不相关的各种干扰，经解调恢复出原始信息。

这一过程说明了直扩系统的基本原理和它是怎样通过对信号进行扩频与解扩处理从而获得提高输出信噪比的好处的。它体现了直扩系统的抗干扰能力。

2.1.4 m 序列

m 序列是最长线性移位寄存器序列的简称。二进制的 m 序列是一种重要的伪随机序列，有良好的自相关特性。容易产生、规律性强，但其随机性接近于噪声和随机序列。m 序列在扩展频谱及码分多址技术中有着广泛的应用，并在 m 序列基础上还能够成其它码序列，因此无论从 m 序列直接应用还是从掌握伪随机序列基本理论而言，应该熟悉 m 序列的产生及其主要特性。

顾名思义，m 序列是由多级移位寄存器或其他延迟元件通过线性反馈产生的最长的码序列。在二进制移位寄存器发生器中，若 n 为级数，则所能产生的最大长度的码序列为 2^n-1 位。

现在来看看如何由多级移位寄存器经线性反馈产生周期性的m序列。图2-3为一最简单的三级移位寄存器构成的m序列发生器。

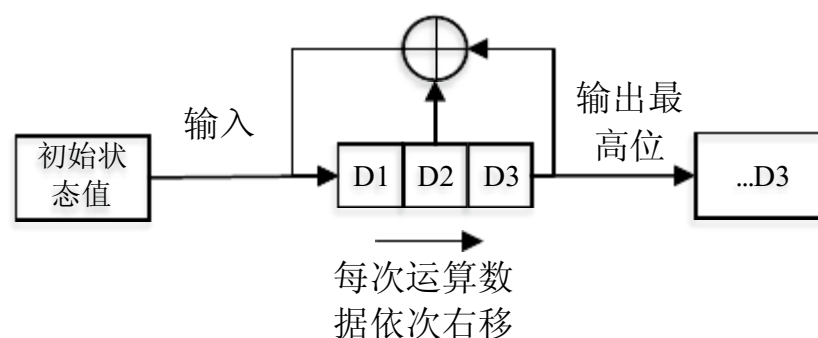


图 2-3 三级移位寄存器构成的m序列发生器

图中 D1、D2、D3 为三级移位寄存器，为模二加法器。移位寄存器的作用为在时钟脉冲驱动下，能将所暂存的“1”或“0”逐级向右移。模二加法器的作用为图中(b)所示的运算，即 $0+0=0$ ， $0+1=1$ ， $1+0=1$ ， $1+1=0$ 。图(a)中 D2、D3 输出的模二和反馈为 D1 的输入。在图(c)中示出，在时钟脉冲驱动下，三级移位寄存器的暂存数据按列改变。D3 的变化即输出序列。如移位寄存器各级的初始状态为 111 时，输出序列为 1110010。在输出周期为 $2^3-1=7$ 的码序列后，D1、D2、D3 又回到 111 状态。在时钟脉冲的驱动下，输出序列作周期性的重复。因 7 位为所能产生的最长的码序列，1110010 则为 m 序列。

这一简单的例子说明：m 序列的最大长度决定于移位寄存器的级数，而码的结构决定于反馈抽头的位置和数量。不同的抽头组合可以产生不同长度和不同结构的码序列。有的抽头组合并不能产生最长周期的序列。对于何种抽头能产生何种长度和结构的码序列，已经进行了大量的研究工作。现在已经得到 3 -100 级 m 序列发生器的连接图和所产生的 m 序列的结构。

例如 4 级移位寄存器产生的 15 位的 m 序列之一为 111101011001000。同理我们不难得到 31、63、127、255、511、1023...位的 m 序列。

一个码序列的随机性由以下三点来表征：

1. 一个周期内“1”和“0”的位数仅相差 1 位。
2. 一个周期内长度为 1 的游程(连续为“0”或连续为“1”)占 $1/2$ ，长度为 2 的游程占 $1/4$ ，长度为 3 的游程占 $1/8$ 。只有一个包含 n 个“1”的游程，也只有一个包含(n—1)个“0”的游程。“1”和“0”的游程数相等。

3. 一个周期长的序列与其循环移位序列比较，相同码的位数与不相同码的位数相差 1 位。

在 m 序列中一个周期内“1”的数目比“0”的数目多 1 位。例如上述 7 位码中有 4 个“1”和 3 个“0”。在 15 位码中有 8 个“1”和 7 个“0”。

在表 3-2 中列出长为 15 位的游程分布。

表 2-1 11110101100100游程分布

游程长度（比特）	“1” 的游程数	“0” 的游程数	所包含的比特数
1	2	2	4
2	1	1	4
3	0	1	3
4	1	0	4
游程总数 8			合计 15

一般说来，m 序列中长为 R 的游程数占游程总数的1 / 2k。

m 序列的自相关函数由下式计算：

$$R(\tau)=\frac{A-D}{A+D}, \tag{2-12}$$

A 为 “0” 的位数；D 为 “1” 的位数

令 p =A + D = 2n -1 则：

$$R(\tau)=\begin{cases} 1, & \tau=0 \\ -\frac{1}{P}, & \tau\neq 0 \end{cases} \tag{2-13}$$

设 n=3,p =23-1=7， 则：

$$R(\tau)=\begin{cases} 1, & \tau=0 \\ -\frac{1}{7}, & \tau\neq 0 \end{cases} \tag{2-14}$$

它正是图 3-1 (d)中所示的二值自相关函数。

m 序列和其移位后的序列逐位模二相加，所得的序列还是m 序列，只是相移不同而已。例如 1110100 与向右移三位后的序列 1001110 逐位模二相加后的序列为 0111010，相当于原序列向右移一位后的序列，仍是 m 序列。

m 序列发生器中移位寄存器的各种状态，除全0 状态外，其他状态只在m 序列中出现一次。如 7 位 m 序列中顺序出现的状态为 111，110，101，010，100，001和 011，然后再回到初始状态 111。m 序列发生器中，并不是任何抽头组合都能产生m 序列。理论分析指出，产生的 m 序列数由下式决定

$$F(2n-1)/n \tag{2-15}$$

其中由 $F(X)$ 为欧拉数(即包括 1 在内的小于 X 并与它互质的正整数的个数)。例如 5 级移位寄存器产生的 31 位 m 序列只有 6 个。

2.2 直扩系统的性能

2.2.1 直扩系统的抗干扰性

直扩系统最早应用是在军事通信中作为很强抗干扰性的通信手段。直扩系统对窄带干扰、宽带干扰等，都具有抗干扰能力，其抗干扰能力大小就是前面提出的扩频处理增益 G_p ， G_p 越大，抗干扰能力就越强。下面就来分析直扩系统抗宽带干扰和抗窄带干扰的原理

这里的宽带干扰是泛指的和扩频信号不相关的，在 CDMA 通信网中，其它用户的信号就是一种宽带干扰。相关处理前，信号频谱是很宽的，经相关处理后，有用信息被解扩，其功率谱集中于信息带宽内，而宽带干扰通过相关器，其功率谱密度基本不变。由于解扩后必然连接窄带滤波器，保证信号能顺利通过，对信号频带之外的各种干扰起到很大的抑制作用，从而提高了输出的信噪比。

对单频或窄带干扰，直扩系统有很强的抗干扰能力。图4-4 (a) 为解扩前的功率谱，窄带干扰功率很大，由于干扰与本地扩频码 (PN 码) 是不相关的。对干扰来说，相关器起到扩展频谱的目的，功率谱密度就大大下降，其中对信号有害的干扰分量只有落入信息带宽部分，从而抑制了大部分干扰。由于有用信号能顺利通过窄带滤波器，因此提高了输出的信噪比。

2.2.2 直扩信号的抗截获性

截获敌方信号的目的在于：

1. 发现敌方信号的存在，
2. 确定敌方信号的频率，
3. 确定敌方发射机的方向。

论分析表明，信号的检测概率与信号能量与噪声功率谱密度之比成正比，与信号的频带宽度成反比。直扩信号正好具有这两方面的优势，它的功率谱密度很低，单位时间内的能量就很小，同时它的频带很宽。因此，它具有很强的抗截获性。

如果满足直扩信号在接收机输入端的功率低于或与外来噪声及接收机本身的热噪声功率相比拟的条件、则一般接收机发现不了直扩信号的存在。另外，由于直扩信号的宽频带特性，截获时需要在很宽的频率范围进行搜索和监测，也是困难之一。因此，直扩信号可以用来进行隐藏通信。至于如何发现敌方直扩信号的存在，和弄清楚其参数，即直扩信号的检测与估值问题。

第3章 直接序列扩频通信系统的MATLAB 仿真

3.1 matlab 简介

MATLAB 原意为“矩阵实验室—MATrixLABoratory”，它是目前控制界国际上最流行的软件，它除了传统的交互式编程之外，还提供了丰富可靠的矩阵运算、图形绘制、数据和图象处理、Windows 编程等便利工具。MATLAB 还配备了大量工具箱，特别是还提供了仿真工具软件 SIMULINK。MATLAB 在 80 年代一出现，首先是在控制界得到研究人员的瞩目。随着 MATLAB 软件的不断完善，特别是仿真工具 SIMULINK 的出现，使 MATLAB 的应用范围越来越广。随着 MATLAB 库函数和仿真工具箱的不断扩充，使其在系统仿真与分析、信号处理、图像处理等方面的应用越来越广泛。MATLAB 具有 3 大特点：

（1）功能强大，包括数值计算和符号计算，计算结果和编程可视化，数学和文字统一处理，离线和在线皆可计算；

（2）面友好，语言自然。MATLAB 以复数矩阵为计算单元，指令表达与标准教科书的数学表达式相近；

（3）开放性。MATLAB 有很好的可扩充性，可以把它当作一种更高级的语言去使用，可容易地编写各种通用或专用应用程序。

正是由于 MATLAB 的这些特点，使它获得了对应用学科（特别是边缘学科和交叉学科）的极强适应力，并很快成为应用学科计算机辅助分析设计、仿真、教学乃至科技文字处理不可缺少的基础软件，成为欧美高等院校、科研机构教学与科研必备的基本工具。本文就是利用编制 MATLAB 仿真 m 文件进行 DS 扩频通信系统的性能仿真及其分析。

3.2 设计思路及模型抽象

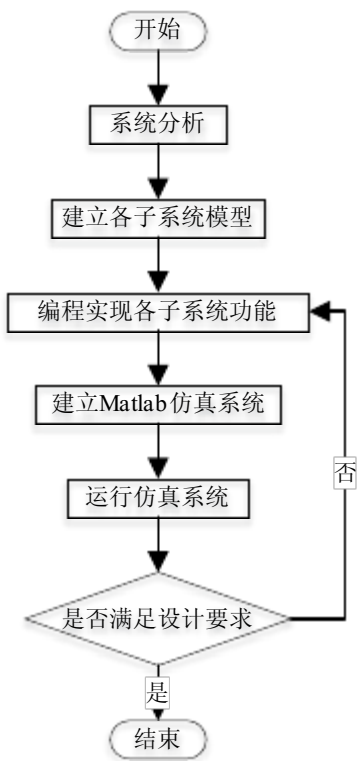


图 3-1 设计思路流程图

本文在进行系统设计时，首先参考移动通信教科书相关理论知识对直接扩频通信系统进行仔细研究，划分出PN 码生成子系统，PSK 调制子系统等五大子系统，然后对各子系统的功能及实现原理进行细致研究选出合适的算法完成各系统模块的编程。接着利用各子系统完成系统搭建，运行仿真系统，对结果进行分析，对各项参数和指标进行评估。以判断系统是否符合要求。

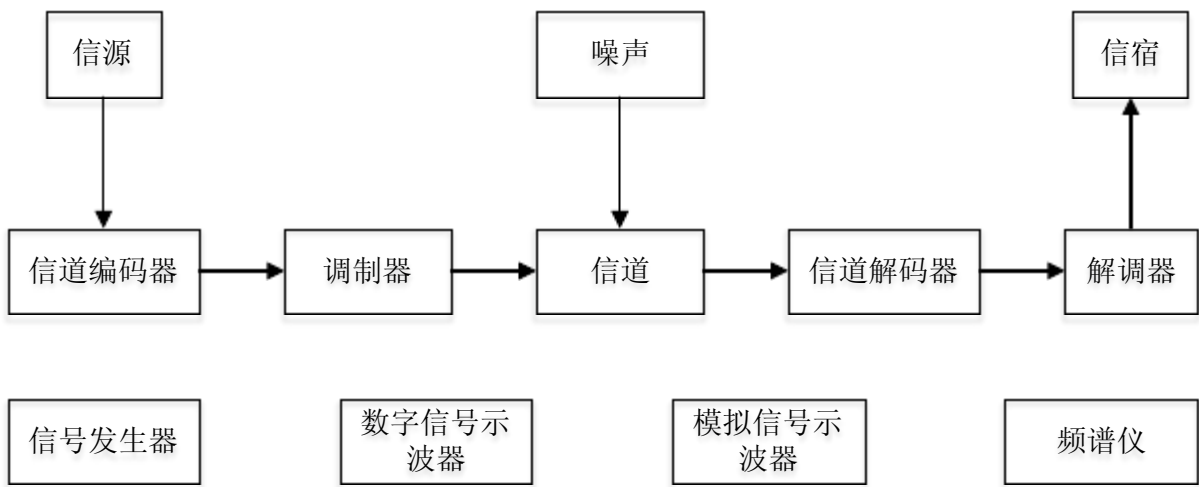


图 3-2直接序列扩频通信系统模型

经过研究，为了完成本设计要求，根据通信系统基本模型和本设计要求完成系统模型抽象，主要包含信源（随机数字信号发生器）、信道编码器、调制器、信道（无噪声信道和高斯白噪声信道两

种)、解调器、信道解码器、信宿等八个子系统。为了观察仿真结果需要数字信号示波器、模拟信号示波器和频谱仪几大反馈子系统。

3.3 系统仿真流程图

根据以上分析现作出通信系统主要流程图：

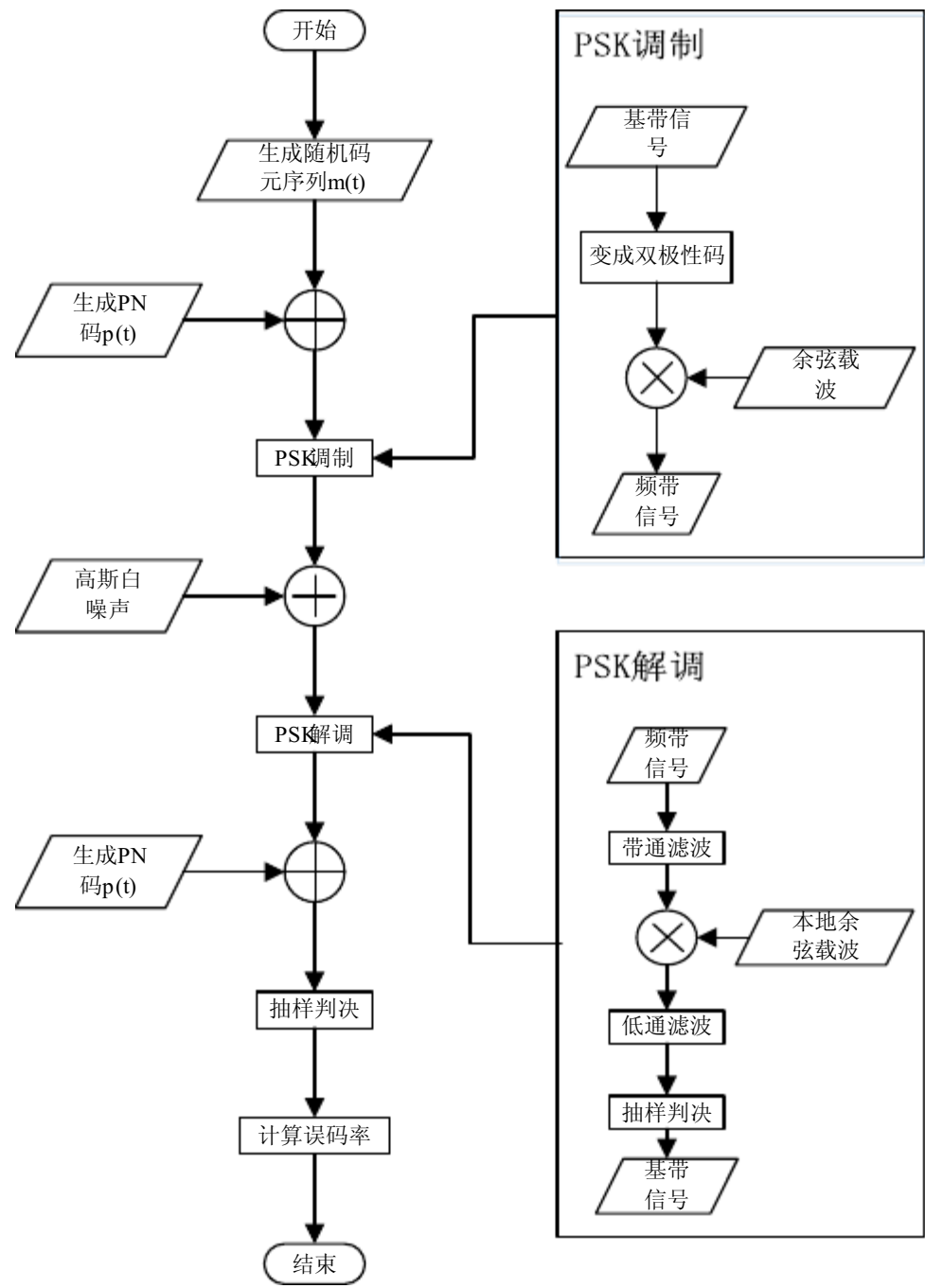


图 3-3 直接扩频通信系统流程图

本系统中信源为二进制随机信号生成器，信号频率为 f_c 。PN码为 m 码生成器，采用寄存器移位模二加运算生成，信号频率为 $f_m=100*f_c$ 。PSK 载波为 $f_p=f_m*100$ 的余弦信号，通过与双极性基

带信号进行乘法运算实现PSK调制。系统中抽样频率为 $f_s=64*f_p$

3.3.1 发射机

发射机部分主要包含信道编码器和调制器两个部件。信道编码器包含PN序列生成，源码抽样和编码三个步骤。调制器包含载波生成，基带信号极性变换和调制三个步骤。其模型如下：

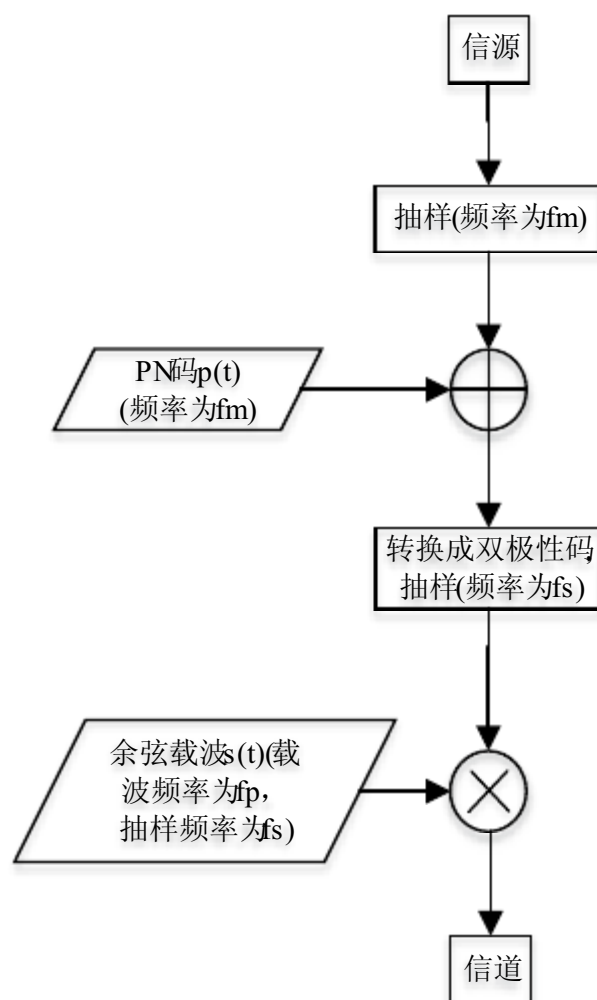


图 3-4 发射机模型

3.3.1 接收机

接收机机部分主要包含解调器和信道解码器两个部件。解调器包含带通滤波，载波生成，解调，低通滤波以及抽样判决等几个步骤。信道解码器包含PN序列生成，解码和抽样判决三个步骤。接收机最终输出的信号应该与源信号完全一致。其模型如下：

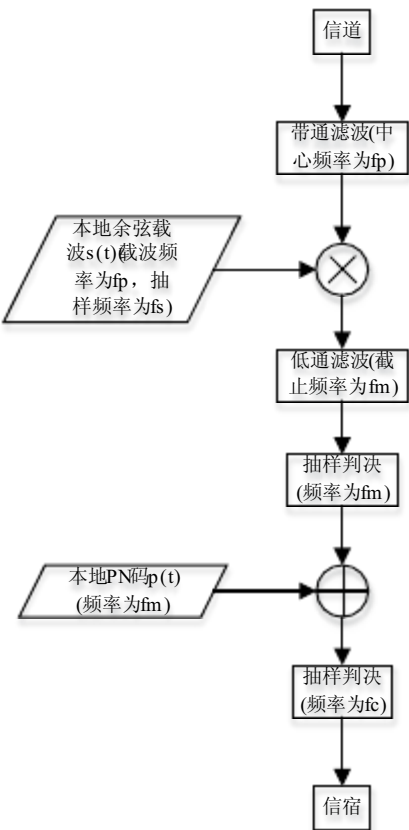


图 3-5接收机模型

3.4 matlab 仿真关键程序及实现

3.4.1工具设计

1) 模拟信号示波器

本设计中模拟示波器较为简单主要是根据序列长度求出及序列频率求出其横坐标时间值。然后利用 plot 函数绘出其波形。

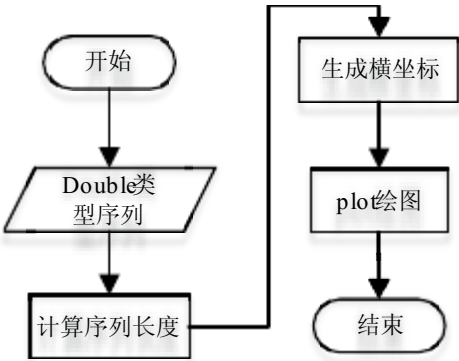


图 3-5 模拟信号示波器程序流程图

程序如下：

```
function plot_double(m,s,fs)%m 为输入序列，s 为图片名，fs 为输入序列频率
N=length(m);%计算序列长度
n=0:1:N-1;
t=n/fs;%求出横坐标
%绘波形图
plot(x,m,'k');
xlabel('时间 t');
ylabel('幅度 h');
title(s);
```

2) 数字示波器

本数字示波器主要利用 matlab 中 plot 函数完成波形绘制，但是需要对横纵坐标进行坐标变换方可画出其波形。其流程图如下。

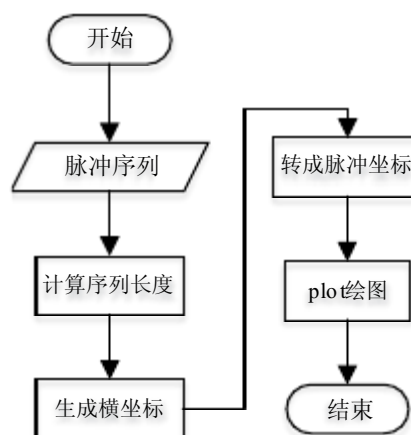


图 3-6 数字示波器流程图

坐标变换原理如下：

常规 plot 函数横纵坐标序列如下。

$$\begin{aligned} X &= x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots, x_{n-2}, x_{n-1}, x_n \\ Y &= y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, \dots, y_{n-2}, y_{n-1}, y_n \end{aligned} \quad (3-1)$$

X 为横坐标， Y 为纵坐标。

然后按式 3-2 生成新序列 X' ， Y' ：

$$\begin{cases} x_i' = x_j (j \text{ 为 } \frac{i}{2} \text{ 取整}) \\ y_i' = y_j (j \text{ 为 } \frac{i}{2} \text{ 取整}) \end{cases} \quad (3-2)$$

新坐标 X' , Y' 即为:

$$\begin{aligned} X' &= x_1, x_1, x_2, x_2, \dots, x_{n-1}, x_{n-1}, x_n, x_n \\ Y' &= y_1, y_1, y_2, y_2, \dots, y_{n-1}, y_{n-1}, y_n, y_n \end{aligned} \quad (3-3)$$

程序:

function plot_bit(m,s,fs)%m为输入序列, s 为图片名, fs 为输入序列频率

N=length(m);%计算序列长度

x=0:1:N-1;

t=x/fs;%求出横坐标

x1=[x;x(2:end),x(end)+1]; % 实现坐标变换

x2=x1(:);

y1=[m;m];

y2=y1(:);

plot(x2,y2,'k'); %绘波形图

xlabel('时间 t');

ylabel('幅度 h');

title(s);

3) 频谱仪

本设计中频谱仪主要是根据序列长度及频率求出其横坐标频率分布 然后利用 fft 变换求出序列频率, 然后对该值取模求得幅值。最后利用 plot 函数绘出其频谱。流程图如下:

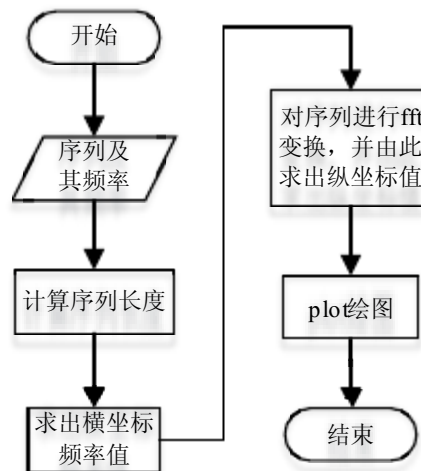


图 3-7 频谱仪程序流程图

程序如下：

```
function fft_print(m,fs,s)
```

%m 为输入序列，s 为图片名，fs 为输入序列频率

```
N=length(m);%求序列长度
```

```
f=-fs/2:fs/N:fs/2-fs/N;%频率序列
```

```
X=fft(m);%对信号进行快速 Fourier 变换
```

```
plot(f,fftshift(abs(X));%求得 Fourier 变换后的振幅,并绘制频谱
```

```
xlabel('频率 (Hz) ');
```

```
ylabel('幅度 (db) ');
```

```
title(s);
```

3.4.2 m 序列

本设计中 m 序列发生器可以根据输入参数根据 m 序列运算规则自动生成所要求的 m 序列。其程序流程图如下：

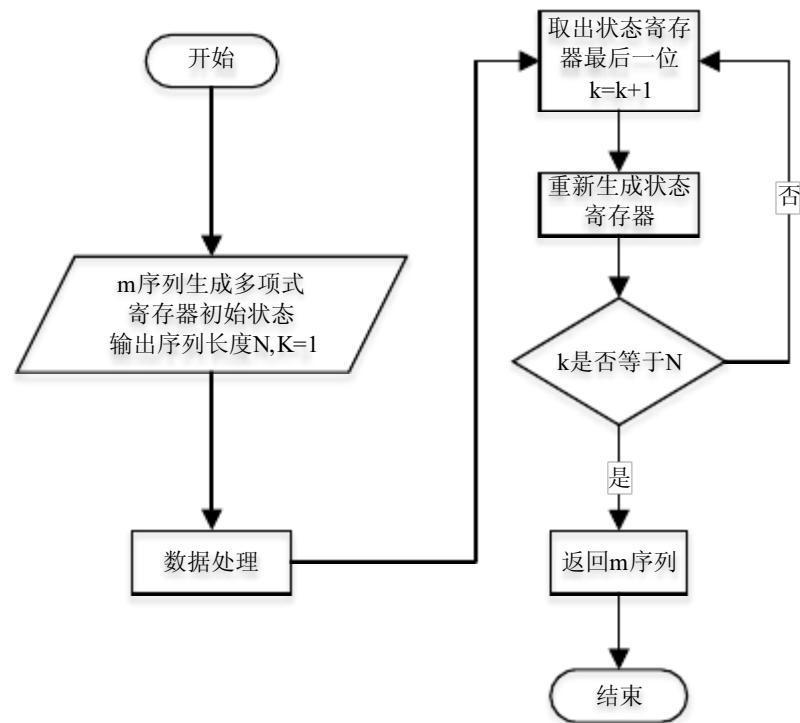


图 3-8 m序列生成流程图

程序如下：

%m 序列发生器

```
function [out] = mgena(g,state,N)
```

%输入 g: m 序列生成多项式 (10 进制输入)

% state: 寄存器初始状态 (10 进制输入)

% N: 输出序列长度

```
gen = dec2bin(g)-48; %将生成多项式转成二进制数组
```

```
M = length(gen); %将生成多项式长度
```

```
curState = dec2bin(state,M-1) - 48; %将寄存器初始状态转成二进制数组
```

```
for k=1:N %生成 m 序列
```

```
    out(k) = curState(end);
```

```
    a = rem( sum( gen(2:M).*curState(1:M-1)),2);
```

```
    curState = [a curState(1:M-2)];
```

```
end
```

3.4.3 系统主程序实现

本系统中信源为二进制随机信号生成器，信号频率为 f_c 。PN码为m码生成器，采用寄存器移位模二加运算生成，信号频率为 $f_m = \text{code_N} * f_c$ 。PSK载波为 $f_p = f_m * \text{carrier_N}$ 的余弦信号，通过与

双极性基带信号进行乘法运算实现PSK 调制。系统中抽样频率为 $f_s=f_p \times \text{sampling_N}$ 。以下为主函数各项参数意义说明。

表 3-1 主函数主要参数说明

参数	意义
fc	信息码频率
code_N	每个码元包含伪码数
fm	M 序列频率
Generator_p	m 序列生成多项式 (10 进制输入)
state	m 寄存器初始状态 (10 进制输入)
carrier_N	载波频率
fp	每个载波周期包含采样点数
sampling_N	频谱抽样频率
fs	频谱抽样频率
db	高斯白噪声信道信噪比
Channel_stauts	信道状态参数

主函数主要程序流程图如下：

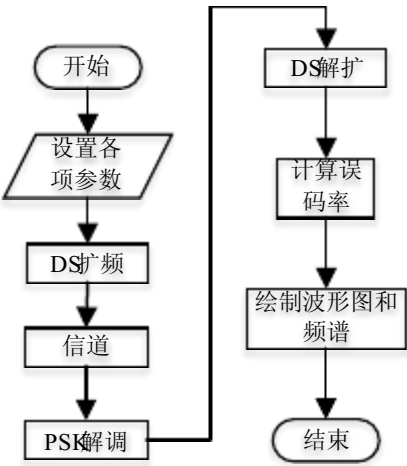


图 3-5 主函数主要程序流程图

本套实验代码共分为主程序部分，波形绘制，频谱绘制，图形绘制部分及滤波器代码。除正文列出的主要代码外，其余代码均列于附件。

程序代码：

```
clear all

t0=cputime;

%参数

fc=10;%信息码频率

code_N=10;%每个码元包含伪码数
```

```

fm=code_N*fc;%伪码频率

Generator_p=25;%m序列生成多项式 (10 进制输入)

state=17;%m 寄存器初始状态 (10 进制输入)

carrier_N=100;%每个伪码包含载波周期数

fp=fm*carrier_N;%载波频率

sampling_N=64;%每个载波周期包含采样点数

fs=fp*sampling_N;%频谱抽样频率

f0=fp;%带通滤波器中心频率

db=10;%高斯白噪声信道信噪比

Channel_stauts=1;% 信道状态参数

%信源

%产生信息码

N=1:fc;

%x=round(rand(1,code_length));

x=sign(rand(1,fc)-0.5);%信息码

y(x>0)=1;

y(x<0)=0;

%原码抽样

for i=1:fc

    s((1+(i-1)*code_N):i*code_N)=x(i);%每个信息码元内含length_N*length_M 个采样点

end

%产生伪随机码

x_code=sign(mgena(Generator_p, state, fm)-0.5);%把 0,1 序列码变换为-1,1 调制码

k_code=s.*x_code;%k_code为扩频码%扩频

for i=1:fm% 每个伪码码元内含length_M 个采样点%扩频码抽样

    w_code((1+(i-1)*sampling_N*carrier_N):i*sampling_N*carrier_N)=k_code(i);

end

t=0:1/fs-1;w=2/fs;carrier=cos(fp*w*t*pi);

signal=carrier.*w_code;%调制

%信道

```

```
if Channel_stauts==1
    signal_wgn=signal+wgn(1,fs,db); %高斯白噪声
else signal_wgn=signal;
end
%PSK解调
fcuts=[fp-fp/100 fp-fp/200 fp+fp/200 fp+fp/100];
signal_bp=bandpass_r(signal_wgn,fcuts,fs); %带通滤波
signal_demodulation=2*signal_bp.*carrier; %解调
signal_l=lowp(signal_demodulation,fm,fc,fs); %低通滤波器
signal_DS=signal_l(round(fs/fm/2):fs/fm:end); %抽样判决
Code_s0=x_code.*signal_DS; %解扩
Code_s=Code_s0(round(fm/fc/2):fm/fc:end); %信号抽样
Code_s(Code_s<0)=0;Code_s(Code_s>0)=1;%判决
print_figure; %绘图
sc=sum(abs(Code_s-y))/fc*100; %误码率计算
elapsed_time=cputime-t0;
```

3.5 结果分析

3.4.1无白噪声通信系统

1) 无白噪声通信系统波形分析

本次实验参数设置如下：

表 3-2 参数设置

参数	意义	取值
fc	信息码频率	5
code_N	每个码元包含伪码数	10
fm	M 序列频率	50
Generator_p	m 序列生成多项式 (10 进制输入)	17
state	m 寄存器初始状态 (10 进制输入)	26
carrier_N	每个扩频码周期包含调制	1
fp	载波频率	50
sampling_N	每个载波周期包含采样点数	64
fs	频谱抽样频率	320
db	高斯白噪声信道信噪比	30
Channel_stauts	信道状态参数（取 0 为无噪声）	0

运行程序可得发送端波形图如下：

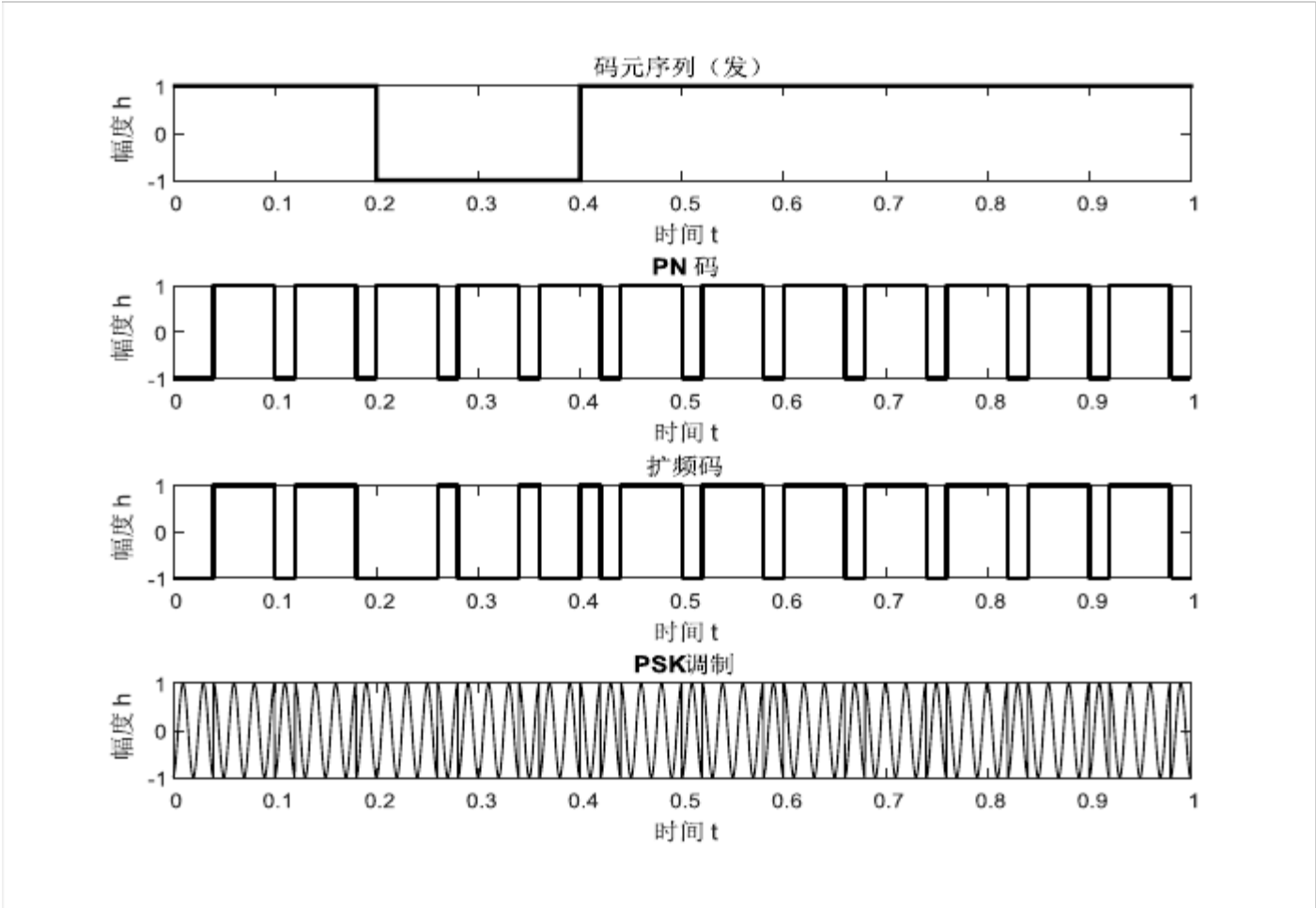


图 3-6发射端各部分波形图

观察码元序列、PN 码和扩频码波形很容易可以看到扩频码是由码元序列与PN 码模二加运算之后得到的，而观察PSK 调制信号与扩频码波形图，容易看到载波为周期为 $\frac{2\pi}{50}$ 的余弦信号，并且在扩频码序列信号出现变化时，载波信号相位加 π 。这显然符合PSK 调制。

运行程序可得发送端波形图如下：

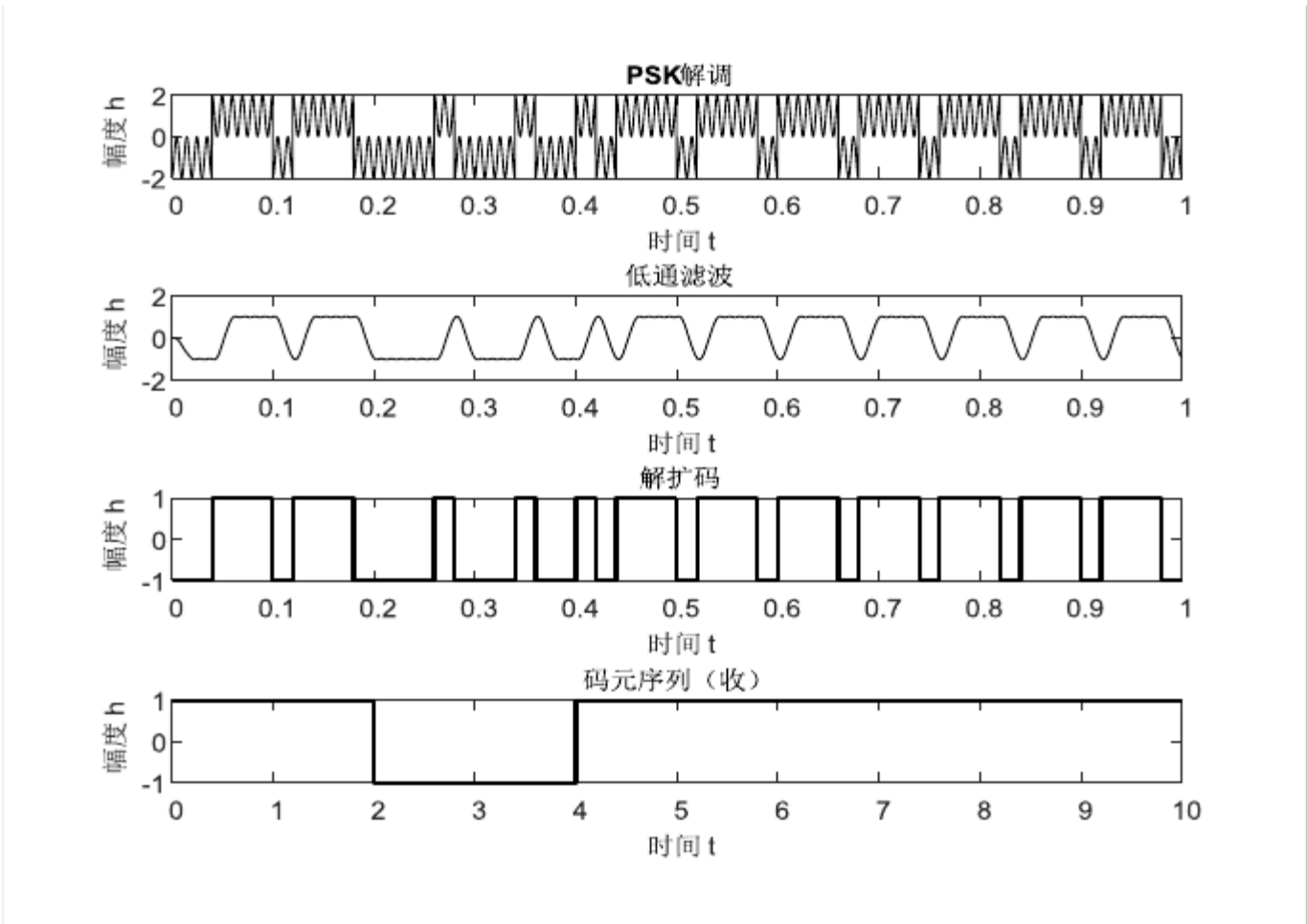


图 3-7 接收端各部分波形图

观察 PSK 解调信号与 PSK 调制信号，可以看到被调信号明显得到了解调，且在经过截止频率为 PN 码的频率 f_m 的一个低通滤波器之后，这可以明显看到原始信号波形。再经过抽样判决器以后，则可以明显看到解扩前码元与扩频码完全一致，再经过解扩和抽样之后信号完全恢复到发送时的状态。

2) 无白噪声通信系统频谱分析

表 3-3 参数设置

参数	意义	取值
fc	信息码频率	100
code_N	每个码元包含伪码数	10
fm	M 序列频率	1000
Generator_p	m 序列生成多项式 (10 进制输入)	17
state	m 寄存器初始状态 (10 进制输入)	26
carrier_N	每个扩频码周期包含调制	100
fp	载波频率	100000
sampling_N	每个载波周期包含采样点数	64
fs	频谱抽样频率	6400000
db	高斯白噪声信道信噪比	30
Channel_stauts	信道状态参数（取 0 为无噪声）	0

运行程序可得以下频谱图：

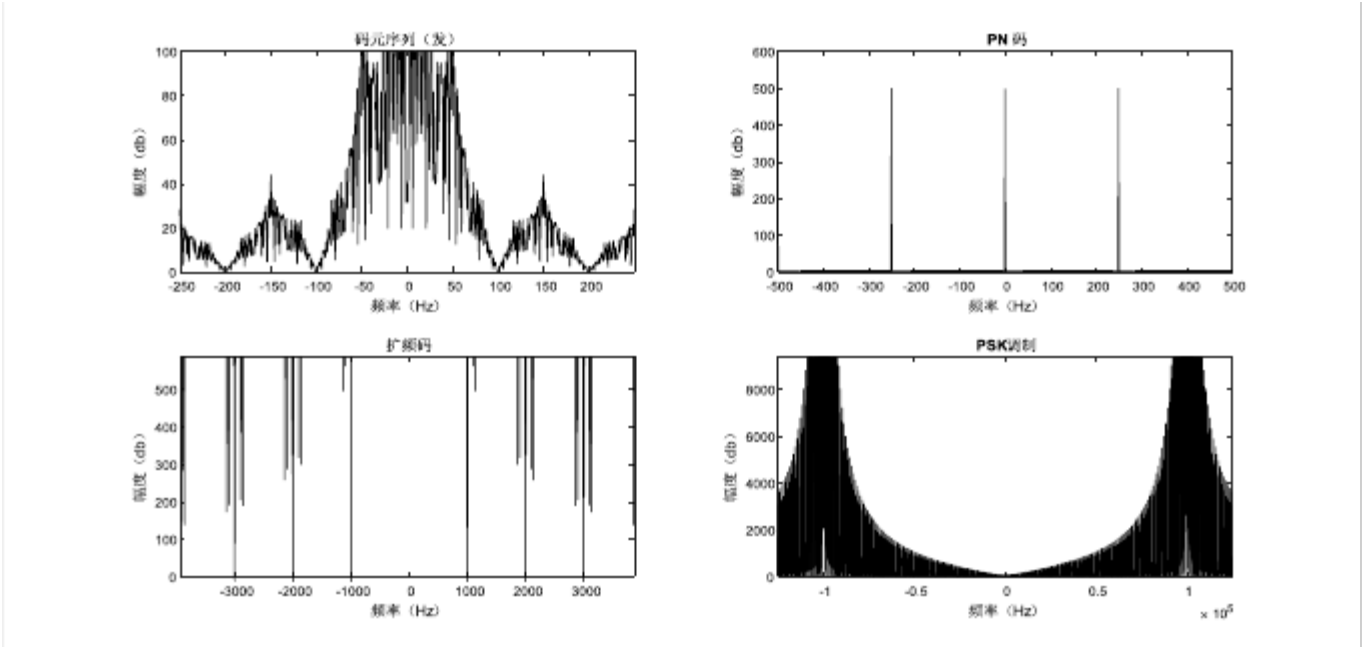


图 3-8发端频谱

根据发端频谱可以看到原码序列带宽为 100Hz，而经过直接扩频码的扩频以后可以看到信号带宽从 100 变到了 1000，这符合我们所设置的参数fc 和 fm 的值。经过 PSK 调制以后可以看到信号频谱从 0Hz 搬移到了 100kHz 满足说设置的载波频率fp 的值。

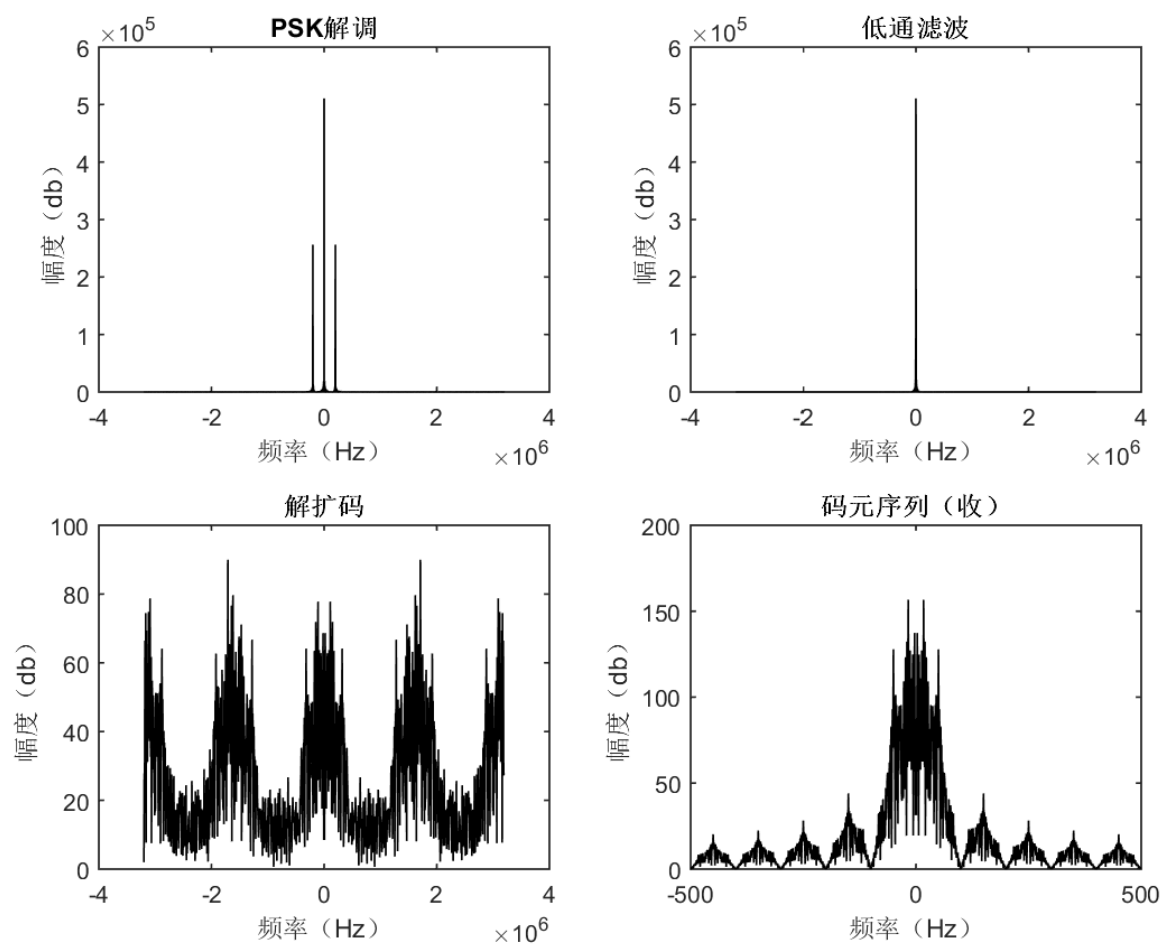


图 3-9 收端频谱

容易看到经过 PSK 解调以后,信号频谱重新回到了 0Hz 不过还是有一个 100kHz 的分量在里面,经过低通滤波器以后该分量消失,对比扩频码信号和解扩码信号可以看出,他们都有 4 个明显频率分量,且分量一致,这符合扩频原理。最后可以看到码元序列收端频谱与码元序列发端频谱完全一致,说明在无噪声时,本通信系统没有频率损失。

最后观察到误码率为零,这与频谱分析结果一致。

3.4.1 高斯白噪声信道系统分析

1) 参数设置

为了与无白噪声信道的系统作对比,本实验相较于表 3-2 只修改了高斯白噪声信道强度和信道状态参数两项参数。

表 3-3 参数设置

参数	意义	取值
fc	信息码频率	100
code_N	每个码元包含伪码数	10
fm	M 序列频率	1000
Generator_p	m 序列生成多项式 (10 进制输入)	17
state	m 寄存器初始状态 (10 进制输入)	26
carrier_N	每个扩频码周期包含调制	100
fp	载波频率	100000
sampling_N	每个载波周期包含采样点数	64
fs	频谱抽样频率	6400000
db	高斯白噪声信道强度	10
Channel_stauts	信道状态参数（取 0 为无噪声）	1

2) 频谱分析

运行程序可以得到发射端频谱：

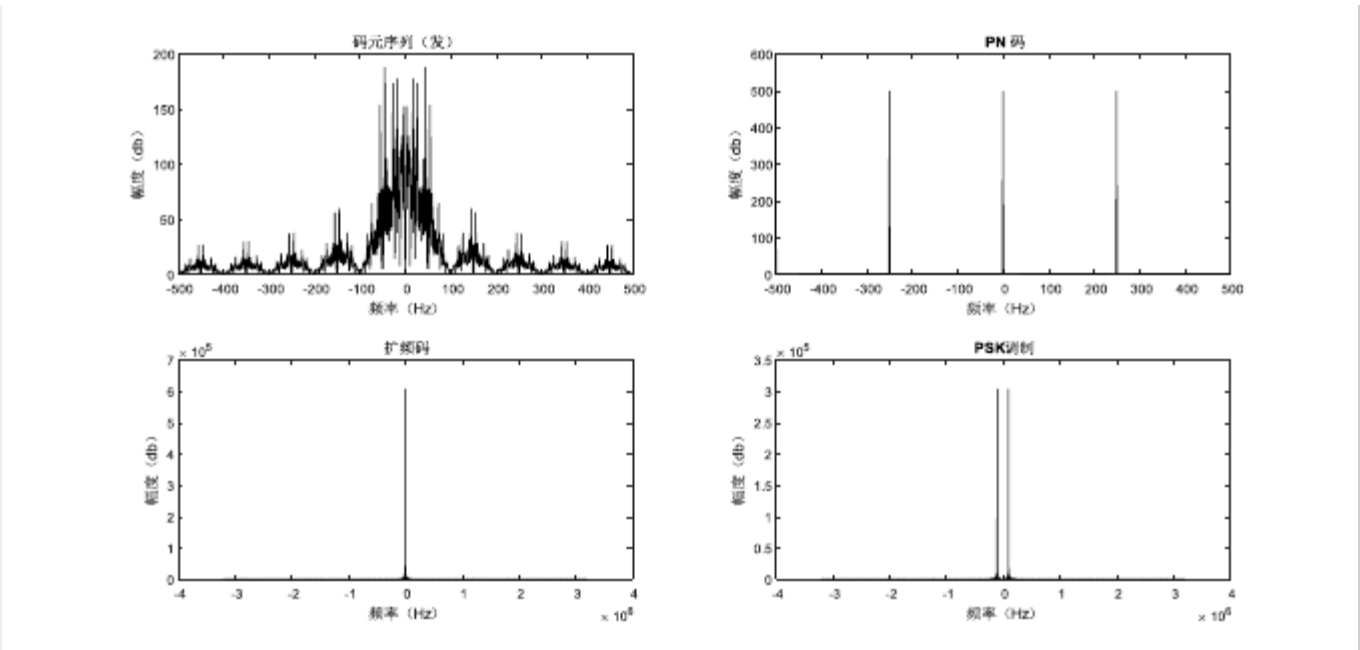


图 3-10 噪声强度为10dB时发射端频谱

显然与图 3-10 相比几乎没有变化，因为只是信道参数发生了变化，所以这显然是合理的。

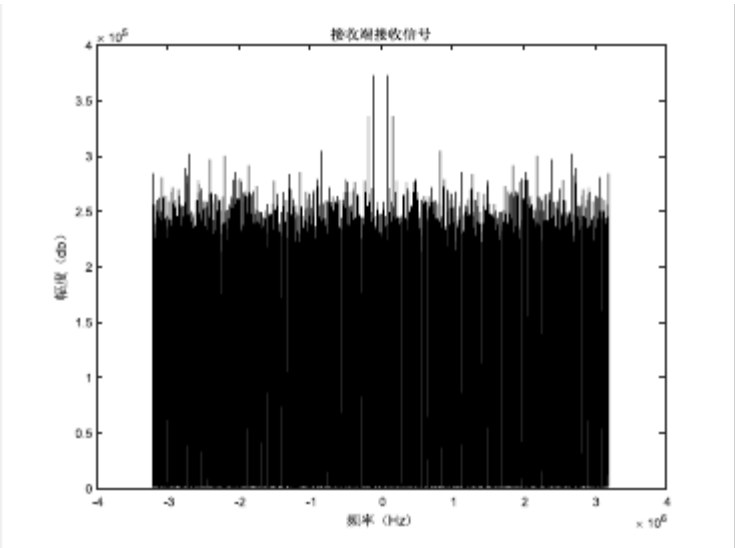


图 3-11 噪声强度为10dB时接收端接收信号的频谱

可以看到噪声强度为 10dB 时，接收端信号接收与发射端发射信号PSK 调制信号相比多出了很多杂波分量，但是发射信号主频强度依然大于杂波信号强度。

以下为本例中为了实现PSK 解调所设计的带通滤波器和低通滤波器响应曲线,为了提高滤波性能，故曲线设置较为陡峭。

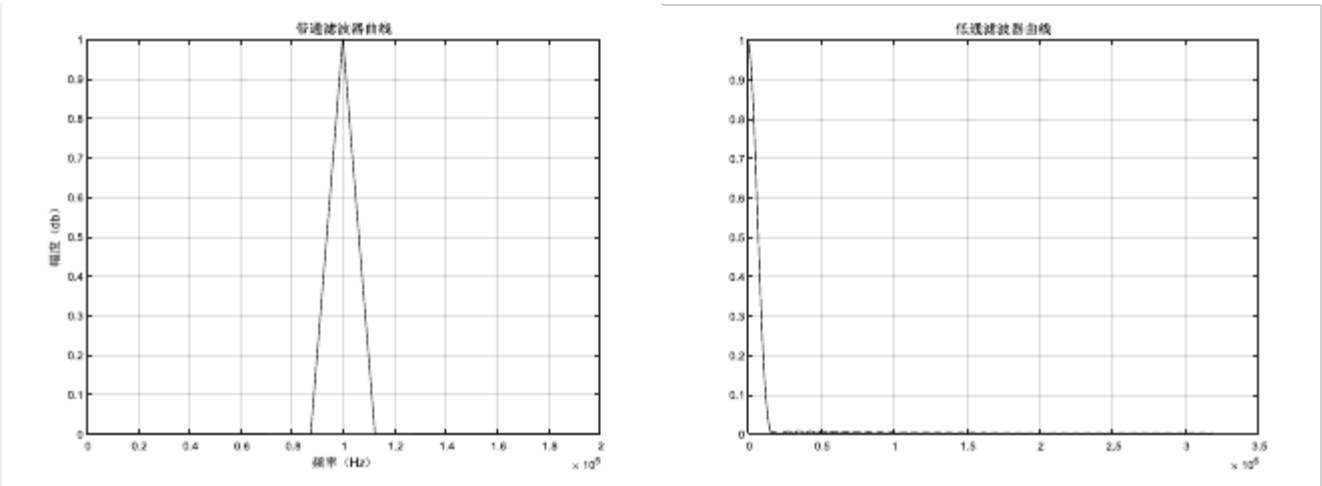


图 3-12 带通滤波器

图 3-12 低通滤波器

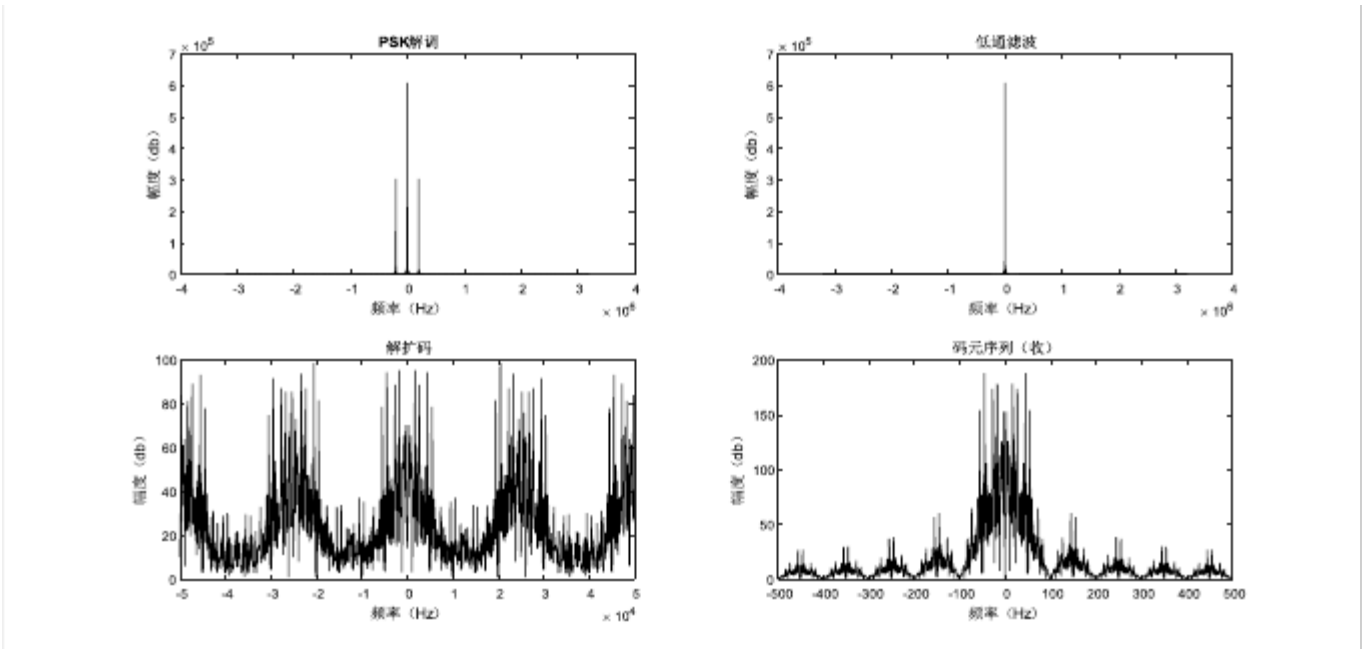


图 3-13 噪声强度为10dB时接收端频谱

最后观察本次实验误码率依然为零，考虑到噪声强度不大，所以也较为符合理论情况。

第4章 结束语

在本次课程设计中此次课程设计，我的任务是主要是利用 MATLAB 编程，根据原理图完成扩频通信仿真系统各模块程序设计，分为发射机、接收机等部分，最终实现直接序列扩频通信系统设计。完成对前后扩频解扩频谱波形比较及收发误码率分析；对设计完成的系统加入干扰源，完成对系统抗干扰性能的分析。

首先，我意识到自己还有很多不足，做设计的时候有遇到了很多困难。虽然本身对 matlab 有一定认识，但是因为没有实现通信系统仿真的经验，所以在实际操作时遇到很多困难。此次课程设计又一次让我深刻体会到，学习是一个长期积累的过程，点点滴滴的累积才会有质的突变，不管是做什么只有自己亲自做过之后才会有大的收获。在以后的学习生活中我们都应该不断的学习，努力增加自己知识和提升自身的综合素质。

然后，通过这次课程设计使我懂得了理论与实际相结合是很重要的，光有理论知识是远远不够的，只有把所学的理论知识与实践结合起来，从理论中得出结论，才能真正为社会服务，从而提高自己的实际动手能力和独立思考的能力。在设计的过程中遇到问题，可以说得是困难重重，但可喜的是最终都得到了解决。

最后，对扩频通信系统进行仿真，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。

参考文献

- [1] 邵玉斌.Matlab/Simulink 通信系统建模.北京：清华大学出版社，2008
- [2] 张德丰.MATLAB 通信系统仿真.北京：机械工业出版社，2010
- [3] 刘保柱.MATLAB 7.0 从入门到精通.北京：人民邮电出版社，2010
- [4] 王立宁.MATLAB 与通信仿真.北京：人民邮电出版社，2000
- [5] 西蒙·赫金.通信系统.北京：电子工业出版社，2010
- [6] 张谨.基于 MATLAB 的通信系统仿真.北京：北京航空航天大学出版社，2007
- [7] 习在芳.基于 Simulink 通信系统仿真分析.湖南：湖南大学系统仿真学报，2006

附件:

```

%图形绘制部分代码

figure;

subplot(411);plot_bit(x,'码元序列（发）',fc);

subplot(412);plot_bit(x_code,'PN码',fm);

subplot(413);plot_bit(w_code,'扩频码',fs);

subplot(414);plot_double(signal,'PSK调制',fs);

print(gcf,'-dpng','发送端.png');

figure;

subplot(411);plot_double(signal_demodulation,'PSK解调',fs);

subplot(412);plot_double(signal_l,'低通滤波',fs);

subplot(413);plot_bit(signal_DS,'解扩码',fm);

subplot(414);plot_bit(Code_s,'码元序列（收）',fc);

print(gcf,'-dpng','接收端.png');

figure;

subplot(221);fft_print(s,fm,'码元序列（发）');

subplot(222);fft_print(x_code,fm,'PN码');

subplot(223);fft_print(w_code,fs,'扩频码');

subplot(224);fft_print(signal,fs,'PSK调制');

print(gcf,'-dpng','C:\Users\98283\Desktop\任务\波形图\发送端频谱.png');

figure;

subplot(221);fft_print(signal_demodulation,fs,'PSK解调');

subplot(222);fft_print(signal_l,fs,'低通滤波');

subplot(223);fft_print(signal_DS,fp,'解扩码');

subplot(224);fft_print(Code_s0,fm,'码元序列（收）');

print(gcf,'-dpng','C:\Users\98283\Desktop\任务\波形图\接收端频谱.png');

figure;

subplot(211);plot_bit(signal_wgn,'接收信号',fs);

```

```
subplot(212);fft_print(signal_wgn,fs,接收信号');  
figure;  
subplot(211);plot_bit(signal_bp,'带通滤波',fs);  
subplot(212);fft_print(signal_bp,fs,带通滤波);  
%带通滤波器部分代码  
  
function y=bandpass(x,fcuts,Fs)  
N=length(x); mags=[0 1 0];  
devs=[0.02 0.1 0.02];  
[n,Wn,beta,ftype]=kaiserord(fcuts,mags,devs,Fs);  
n=n+rem(n,2);  
hh=fir1(n,Wn,ftype,kaiser(n+1,beta),'noscale');  
[H,f]=freqz(hh,1,256,Fs);  
figure;plot(f,abs(H),'k');title(带通滤波器曲线);grid on;  
xlabel('频率 (Hz) ');  
ylabel('幅度 (db) ');  
axis_x=fcuts(1)+fcuts(4);  
axis([0,axis_x,0,1]);  
y=filter(hh,1,x);  
  
%低通滤波器部分代码  
  
function y=lowp(x,fm,fc,fs)  
[b1,a1]=fir1(80, (fm-fc)/(fs/2)); %滤波产生指定带宽的噪声信号  
[h,w]=freqz(b1,1,256,fs);  
figure;plot(w,abs(h));title(低通滤波器曲线);grid on;  
xlabel('频率 (Hz) ');  
ylabel('幅度 (db) ');  
y=filter(b1,a1,x);%对序列 x 滤波后得到的序列 y
```