

基于 Simulink 的直接序列扩频通信 BPSK 调制仿真^{*}

丁 凯 王 英

(92785 部队 绥中 125208)

摘 要 由于信道的限制,基带信号在很多信道中不能直接传输,所以必须用数字基带信号对载波进行调制。论文以直接序列扩频通信系统为研究对象,对 BPSK 调制原理进行了分析。在给定的仿真条件下,采用 BPSK 调制方式,利用 Simulink 对直扩系统仿真模型进行了运行测试,得到了预期的仿真结果。

关键词 直接序列扩频;二相相移键控调制;Simulink

中图分类号 TN91 **DOI**:10.3969/j.issn.1672-9730.2015.09.020

Simulation on DSSS Communication System BPSK Modulation Based on Simulink

DING Kai WANG Ying

(No. 92785 Troops of PLA, Suizhong 125208)

Abstract Due to the channel restriction, baseband signal cannot transmit directly in many channels, so it is essential to modulate a carrier with the baseband signal. In this paper, taking direct sequence spread spectrum (DSSS) communication system as the research object, the modulation principle of BPSK is analyzed in detail. Under the given simulation conditions, with Matlab/Simulink the DSSS simulation programs run tests and get the desired simulation results based on BPSK modulation.

Key Words direct sequence spread spectrum, BPSK modulation, Simulink

Class Number TN91

1 引言

直接序列扩频 (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) 通信具有频谱宽、工作信噪比低、抗干扰和抗多径效应能力强、可实现码分多址、低截获和低检测概率等特点。因为存在传输失真、传输损耗以及无法保证带内特性,所以为了进行长途传输,基带信号需要通过载波调制将频谱搬移到适合无线信道传输的特定频带处。在直接序列扩频通信中,通常采用的调制方式是二相相移键控 (Binary Phase Shift Keying, BPSK)。

基于 Matlab/Simulink 所建立的扩频通信系统的仿真模型,能够反映扩频通信系统的动态工作过程,可进行波形观察、频谱分析和性能分析等,同时能根据研究和设计的需要扩展仿真模型,实现以

扩频通信为基础的现代通信的模拟仿真,为系统的研究和设计提供强有力的平台。

2 直接序列扩频通信原理及组成

2.1 直接序列扩频通信系统模型

直接序列扩频系统实现原理如图 1 所示,在发送端,信源信息经过信道编码后,先进行扩频调制,然后进行 BPSK 调制送入信道中,加入高斯白噪声和窄带干扰。在接受端,首先对接收信号中的干扰进行抑制,然后对伪码进行捕获,同时估计信道传输造成的多普勒频移,用同步后的本地伪码序列对干扰抑制后的信号进行解扩。解扩后的信号送入解调模块,解调模块使用估计出来的多普勒移值对载波进行补偿,成功解调后进行信道译码恢复出原始信源信息。

^{*} 收稿日期:2015 年 3 月 3 日,修回日期:2015 年 4 月 25 日

作者简介:丁凯,男,工程师,研究方向:通信仿真。

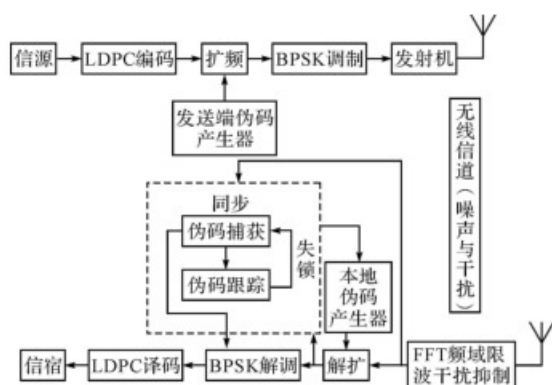


图1 直接序列扩频系统实现原理

2.2 载波调制

调制就是利用基带信号控制高频载波振幅或频率或相位参数随基带信号的变化而变化。用来控制高频载波参数的基带信号称为调制信号,未调制的高频振荡信号称为载波,调制后所得的信号称为已调信号或频带信号。

载波的一般表达式为 $c(t) = A(t)\cos\theta(t)$, $A(t)$ 是随时间变化的幅度, $\theta(t)$ 是随时间变化的角度,也可以表示为 $\theta(t) = \omega(t) + \phi(t)$, 因此

$$c(t) = A(t)\cos[\omega(t) + \phi(t)]$$

其中, ω 是载波的角频率, $\phi(t)$ 是相位。

BPSK 调制是利用载波的相位变化来传递数字信息,而振幅和频率保持不变。

2.3 BPSK 调制原理

假定载波信号 $c(t) = \cos\omega t$, 设发送的二进制符号序列由 0、1 序列组成,该二进制基带符号序列可表示为

$$s(t) = \sum_n a_n g(t - nT_s)$$

式中, $g(t)$ 是持续时间为 T_s 的矩形波形, a_n 是脉冲幅度的取值,则 BPSK 的信号时域表达式为

$$s_{BPSK}(t) = \left[\sum_n a_n g(t - nT_s) \right] \cdot \cos\omega t$$

式中 $a_n = +1$ 或 -1 , 这就是说,在某一码元持续时间 T_s 内:

$$s_{BPSK}(t) = \begin{cases} \cos\omega t, & a_n = +1 \\ -\cos\omega t, & a_n = -1 \end{cases}$$

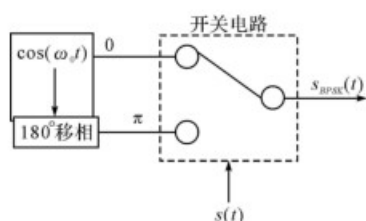


图2 BPSK 信号调制框图

取 π 相位。BPSK 信号调制框图如图 2 所示。

即发送二进制符号“0”码时 ($a_n = +1$), $s_{BPSK}(t)$ 取 0 相位;发送二进制符号“1”码时 ($a_n = -1$), $s_{BPSK}(t)$

采用 Simulink 图形方式建立 BPSK 调制框图。根据原理图 2 建立模型,如图 3 所示。

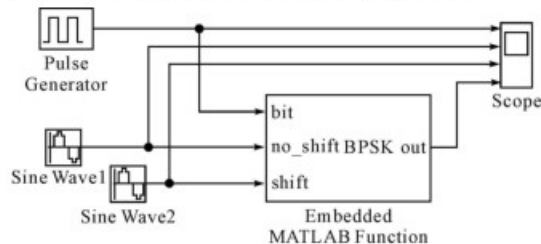


图3 模型图

Pulse Generator 模块用于产生固定间隔的脉冲序列作为信号源,本例中需产生幅度为 1,周期为 0.2s,脉宽为 0.1s 的一个脉冲序列,有两种产生方式。一是基于时间的脉冲生成方式,另一种是基于采样的脉冲生成方式,本文选用前一种,只需设置幅度、周期、脉宽和相位延迟即可。

Sine Wave 模块:Sine Wave1 模块的幅度为 1,频率为 20π (rad/s),相位为 0rad,采样时间为 1/2000;Sine Wave2 模块除相位设为 π rad 外,其余参数设置均与 Sine Wave1 模块相同;这样设置保证产生两个同频率,相位相差 180° 的载波信号。

Embedded MATLAB Function 模块:调用事先写好的 MATLAB 函数文件 BPSK.m,该函数文件的作用相当于图 2 的开关电路。

```
function out=BPSK(bit,no_shift,shift)
if bit == 1
    out = no_shift
else
    out = shift
end
```

设置仿真终止(Stop time)为 1,解法器类型为变步长解法器。给出仿真结果,图 4 中由上到下依次是:脉冲信号、相位为 0 的载波信号、相位为 π 的载波信号、BPSK 信号。

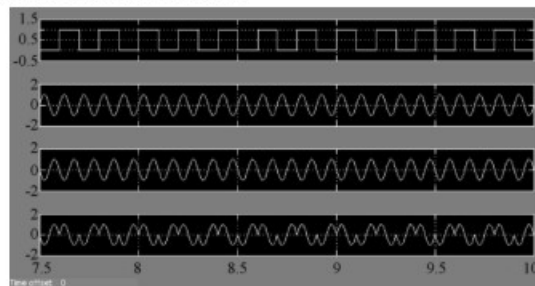


图4 仿真结果

3 直扩系统 BPSK 调制仿真

直扩系统一般较常用的是 BPSK 调制方式。这样做有以下几点原因:产生的信号中载波被抑

制,若不采用某种巧妙的方法难以检测到;由于发射机功率仅用来发送代码产生的信号,故发射有用信息功率增加;由于信号有恒定包络电平,故对所用带宽而言其发射功率为最大;双向调制器是极简单的器件,仅由一对变压器和几个二极管组成。

3.1 直扩系统 BPSK 调制模型

设扩频码为 $c(t)$,载波频率为 ω ,实际运用中,扩频码通常采用双极性,即 $c(t) = \{-1, +1\}$,因此直扩系统 BPSK 调制信号可以表示成为

$$s(t) = c(t)\cos[\omega t + \varphi]$$

如果考虑信息码为 $d(t)$,则直扩系统的 BPSK 调制输出为

$$s(t) = d(t)c(t)\cos[\omega t + \varphi]$$

BPSK 扩频调制器如图 5 所示。

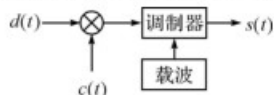


图 5 BPSK 扩频调制器

3.2 仿真实验

仿真所用载波是频率为 510kHz、幅度为 1V 的正弦波,二进制信号码速率为 1kb/s,信号源为扩频调制输出的一个文件。搭建仿真模型,如图 6 所示,图中所有 Zero-Order Hold 模块的采样率均设置为 $1/5.1e6$ 。

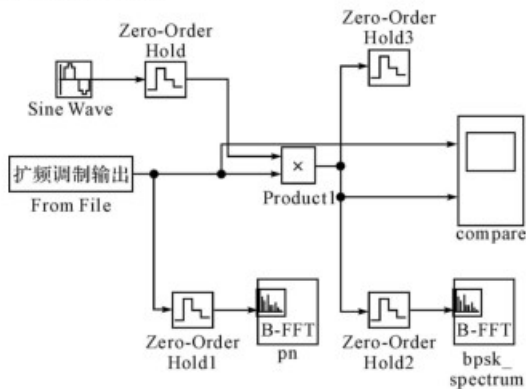


图 6 仿真模型

选择 Sine Wave 模块作为载波信号,由于载波信号的默认时间和信源模块的采样时间不同,因此需对此模块的采样时间进行设定。Amplitude 为正弦波幅度,设定为 1,即正弦波幅度为 1V,Frequency 为载波频率,设定为 $510000 \times 2\pi$ 即 510kHz,具体设置如图 7 所示。

运行仿真,双击模块中名为“compare”的示波器,图 8 中上半部分为输入信号波形,下半部分为载波调制输出信号波形。

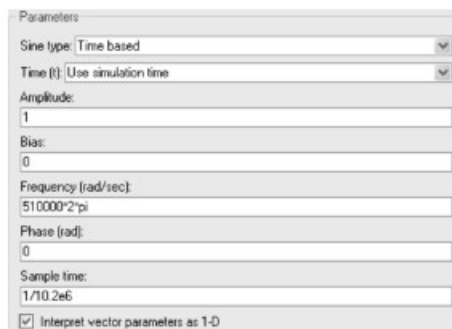


图 7 参数设置

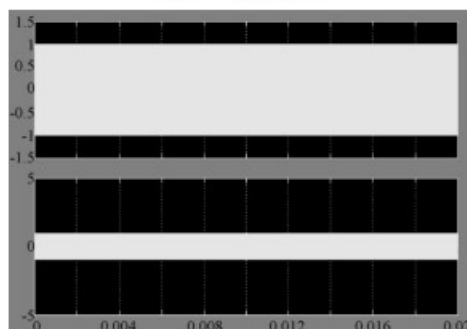


图 8 波形图

图 9 为放大后的时域波形图,可以观察到波形的细部特征。从图中可以看出载波信号有明显的相位翻转,即 BPSK 调制成功。

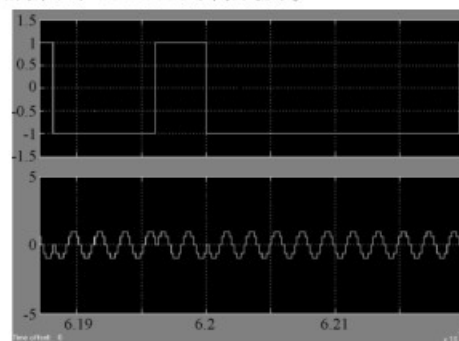


图 9 放大后时域波形图

频谱示波器 pn 中显示的是输入信号的频谱图,频谱示波器 bpsk_spectrum 中显示的是载波调制后的频谱图,对比图 10 和图 11,可以看出经过 BPSK 调制后的信号频谱中心频率被搬移到 510kHz,与理论值吻合。

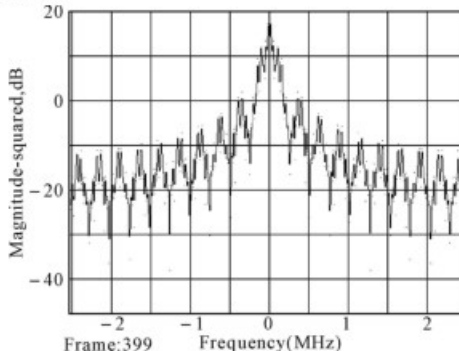


图 10 输入信号频谱图

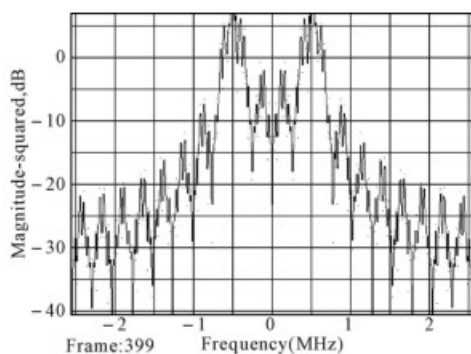


图 11 载波调制后频谱图

4 结语

在直接序列扩频中,由于平衡调制可以抑制载波,使干扰者难以实现瞄准式干扰,而发送者可以用较多的功率来传输信号,并且做到在一定的带宽内发射功率最高,因此常采用二相相移键控(BPSK)。文中对 BPSK 调制原理进行了分析,基于 Matlab/Simulink 环境,采用 BPSK 调制方式,在给定的仿真条件下,对仿真程序进行了运行测试,得到了预期的仿真结果。

(上接第 12 页)

- [4] 王跃鹏,同武勤.现代雷达电子对抗技术[J].舰船电子工程,2005,28(2):3-5.
- [5] [美]George W. Stimson.机载雷达导论[M].第二版.吴汉平,等译.北京:电子工业出版社,2005:893-900.
- [6] Electronic Warfare Defense planning Tactics N.J. Lampos. Electronic Warfare Magazine[J].1974,6(6):3-7.
- [7] ECCOM: Effective Development and Emoployment, O.B. Mitchell, Electronic Warfare Magazine[J].1974, (6):15-19.
- [8] Morchin W. Radar Engineer's Sourcebook[M]. Boston: Artech House, Inc,1993.
- [9] Barton David K, Leonov SA. Radar Technology Encyclopedia[M]. Boston: Artech House, Inc,1993.
- [10] Schleher DC. Electronic Warfare in Information Age [M]. Boston: Artech House, Inc.
- [11] 刘双清,蔡新举,占超.雷达抗干扰技术现状及发展趋势[J].舰船电子工程,2013,33(8):7-10.
- [12] 王玉涛.单脉冲测角技术及工程实现[D].西安:西安电子科技大学,2007:3-9.
- [13] 王勇,彭志刚.现代雷达抗干扰技术研究[J].科技视界,2008,23(1):140-143.
- [14] 李可达.现代雷达基本抗干扰技术[J].航天电子对抗,2004,32(2):15-19
- [15] 林象平.雷达对抗原理[M].西安:西北电讯工程学院出版社,1985:178-183.
- [16] 杜东平,唐斌.基于频域对消的噪声调幅干扰抑制算法[J].电子学报,2007,(3):557-559.
- [17] 赵万春.相控阵脉冲压缩雷达抗干扰性能分析[D].西安:西安电子科技大学,2006:17-43.
- [18] 张锡祥,白华,杨曼.让“千里眼”变成“近视眼”-信息战中的雷达对抗[M].北京:电子工业出版社,2011:45-56.
- [19] 吕连元.现代雷达干扰和抗干扰的斗争[J].弹箭制导,2012,(1):1-6.
- [20] 张德宝,沈鹏.复杂电磁环境下的雷达对抗技术分析[J].雷达对抗,2011,31(4):9-20.
- [21] 朱华邦,杜娟.雷达抗干扰技术的新特点及发展方向[J].飞航导弹,2004,21(5):52-54.
- [22] 刘尚富,行正世,赵朋亮.雷达反对抗技术的现状及发展趋势[J].舰船电子工程,2011,31(8):11-13.
- [23] 聂红霞,姜亮,陈利锋.雷达电子抗干扰技术[J].现代导航,2012,(6):433-437.
- [24] 王小谟,张光义.雷达与探测[M].北京:国防工业出版社,2008.
- [25] 曹鑫,陈欣.雷达干扰技术分析与应用[J].应用技术,2011,(7):188-189.

参考文献

- [1] 田日才.扩频通信[M].北京:清华大学出版社,2007.
- [2] 刘敏,魏玲.MATLAB 通信仿真与应用[M].北京:国防工业出版社,2002.
- [3] 王乐宁.MATLAB 与通信系统仿真[M].北京:人民邮电出版社,2001.
- [4] 邵玉斌.Matlab/Simulink 通信系统建模与仿真实例[M].北京:清华大学出版社,2008:146-199.
- [5] 王典洪,李东峰,刘兵.直接扩频技术的仿真以及实现[J].通信技术,2007(9):1-2,17.
- [6] Zhang H. Interpolator for all-digital receivers[J]. Electronics Letters,1997,33(4):261-262.
- [7] 范伟,翟传润,战兴群,等.基于 MATLAB 的扩频通信系统仿真研究[J].微计算机信息,2006(19):242-244.
- [8] 陈海龙,李宏.基于 MATLAB 的伪随机序列的产生和分析[J].计算机仿真,2005,22(5):98-100.
- [9] Kalen G K. Performance Comparison of Frequency-Diversity and Frequency-Hopping Spread-Spectrum Systems [J]. IEEE Transactions on Communications, 1997,48(8):910-912.
- [10] 席在芳,邬书跃,唐志军,等.基于 SIMULINK 的现代通信系统仿真分析[J].系统仿真学报,2006,10:2966-2968.