

# 目 录

第 1 章 绪 论.....	1
1.1 通信系统仿真概述.....	1
1.2 通信系统仿真的现实意义.....	1
1.3 蓝牙通信系统仿真.....	2
第 2 章 通信系统仿真技术基础理论.....	3
2.1 通信系统简介.....	3
2.1.1 通信系统的组成.....	3
2.1.2 通信系统的分类.....	4
2.1.3 通信方式.....	6
2.2 Simulink 仿真基础.....	7
2.2.1 Simulink 的启动与退出.....	7
2.2.2 Simulink 仿真参数设置及选择解法器.....	9
2.3 Simulink 模块库简介.....	12
2.4 Simulink 仿真简介.....	14
2.4.1 Simulink 仿真模型构成.....	14
2.4.2 仿真过程.....	15
第 3 章 基于 MATLAB/Simulink 通信系统常用模块仿真.....	16
3.1 2ASK 数字调制与解调.....	16
3.1.1 2ASK 的基本原理及其调制解调.....	16
3.1.2 2ASK 的调制解调与仿真.....	17
3.2 2FSK 数字调制与解调.....	20
3.2.1 2FSK 的基本原理及调制解调.....	20
3.2.2 2FSK 的调制与解调.....	21
第 4 章 蓝牙跳频通信系统仿真设计.....	26
4.1 蓝牙技术概述.....	26
4.2 蓝牙跳频系统各部分介绍.....	27
4.2.1 信号接收部分.....	29
4.2.2 谱分析.....	32
4.2.3 误码分析部分.....	33
4.3 蓝牙跳频系统的仿真模型.....	33
4.4 系统运行分析.....	34
结 论.....	36
致 谢.....	37
参考文献.....	37

## 第1章 绪论

### 1.1 通信系统仿真概述

通信系统是用以完成信息传输过程的技术系统的总称。现代通信系统主要借助电磁波在自由空间的传播或在导引媒体中的传输机理来实现,前者称为无线通信系统,后者称为有线通信系统。由于人们对通信的要求越来越高,对通信的要求越来越多样化,所以通信系统正迅速向着宽带化方向发展,而光纤通信系统将在通信网中发挥越来越重要的作用。

通信仿真是衡量通信系统性能的重要工具。与一般仿真过程相似,在对通信系统仿真之前,首先需要研究通信系统的特性,通过归纳和抽象建立通信系统的仿真模型。通信系统仿真是一个循环往复的过程,它从当前系统发出,通过分析建立起一个能够在一定程度上描述原通信系统的仿真模型,然后通过仿真实验得到相关数据。通过对仿真数据的分析可以得到相应结论,然后把这个结论应用到对当前通信系统的改造中。如果改造后通信系统的性能并不像仿真结果那样令人满意,还需要重新实施通信系统仿真,这时候改造后的系统就成了当前系统,并且开始新一轮的通信系统仿真过程。

值得注意的是,在整个通信系统仿真过程中,人为因素至始至终起着相当重要的作用。除了仿真程序的运行外,通信仿真的每个步骤都需要进行人工干预,由人对当前的程序做出重要的判断。因此通信仿真并不是一个机械的过程,它实际上是人的思维活动在计算机协助下的一种延伸。

### 1.2 通信系统仿真的现实意义

随着数字通信技术的发展,特别是与计算机技术的相互结合通信系统和信号处理技术变得越来越复杂。同时各种新技术新器件不断涌现,如廉价高速的数字信号处理芯片(DSP)、超大规模可编程逻辑器件集成光学器件以及微波单片集成电路和光纤技术的广泛应用,对通信系统的体系结构信号编码解码、调制解调、信号检测和处理方式都产生了重大影响。而硬件系统的高度集成化和信号处理的软件化迫使工程设计人员投入更多的时间和精力进行系统性能分析和评估,并对系统设计问题进行研究。强大的计算机辅助分析与设计工具和系统仿真方法,作为将新技术理论成果转换为实际产品的高效且低成本途径越来越受到业界青睐。近年来在通信系统建模、分析和仿真评估领域已经发展了大量的计算机辅助技术,这些技术大致可分为三类。

(1) 基于理论分析的解析方法,如利用计算机对复杂的系统性能评估公式进

行数值计算等。基于理论分析的解析方法往往用于系统设计和性能分析的初期，通过计算了解系统参数和系统性能之间的大致关系。解析分析往往建立在对系统模型大量简化的基础上，对于结构复杂的系统和方案，通过解析方法评估性能往往极其困难，甚至是不可能的，即便存在简化模型下的解析结果，这种结果往往也和实际结果之间存在较大差别。

(2) 结合通信系统硬件原型和测试设备的计算机辅助仿真方法，通常应用于原型系统实现的中后期和原型系统调试中。基于系统硬件原型和测试设备方法成本提高，时间长。受到技术和设备条件的限制，而且必须在硬件系统原型实现后进行，所以不可能用于系统方案的设计阶段。

(3) 基于纯软件的系统仿真方法，即首先对通信系统进行数学建模，然后通过计算机来模拟系统行为、波形以及信号通过系统的过程，并对系统性能指标进行仿真测试和统计分析的一系列方法。利用建模和软件仿真技术，几乎可以对所有的设计细节进行分层次的建模评估，而且模型无针对解析分析简化，因此得出的评价结果更加精细，也更加接近实际系统的运行情况。

利用系统仿真方法可以迅速构建一个通信系统模型，为通信和信号处理系统的设计和分析提供一个便捷高效和精确的评估平台，可以将软件模型和硬件原型输出的数据以及从真实系统采集的信号相互结合起来，从而使测试过程和评估过程统一起来，协同工作，使设计中的错误即使改正，最终使得设计结果与实际系统运行环境相吻合，保证后期产品化过程顺利进行。

### 1.3 蓝牙通信系统仿真

本次毕业设计，我选取了蓝牙通信系统作为通信系统仿真实例进行分析。蓝牙是一种短距离无线通信的技术规范，其最初目标是取代现有的 PDA、移动电话、笔记本电脑等各类数字设备上的有线电缆连接。从目前应用来看，蓝牙体积小功耗低，已不仅局限于计算机外设，可集成至各种数字设备中，尤其是那些传输速率不高的移动设备和便捷设备。

在蓝牙通信系统仿真过程中要求构建蓝牙跳频通信系统的各组成模块，包括信号传输，信号接收，谱分析和误码分析部分，了解并熟悉蓝牙跳频系统的特点，分析系统的运行及性能。主要研究方法是利用 MATLAB/Simulink 软件进行蓝牙跳频通信系统的仿真，通过各组成模块的连接与封装，运行并得到仿真结果以及分析结果。要想全面透彻地对其进行仿真并分析，必须先熟悉通信系统基本理论知识，对各种调制解调技术做到心中有数。本课题使用的 MATLAB/Simulink 软件是当今最优秀的科技应用软件之一，它在许多科学领域中成为计算机辅助设计和分析、算法研究和应用开发的基本工具和首选平台。

## 第2章 通信系统仿真技术基础理论

### 2.1 通信系统简介

通信是将信息从发送者传送给在另一个时空点的接收者。由于完成这一信息传递的通信系统种类繁多，因此它们的具体设备和业务功能可能各不相同，经过抽象的概括，通信流程可用如图 2-1 所示的基本模型图来表示。整个流程是由信源、发送设备、信道（或传输媒质）、接收设备和收信者（信宿）五部分组成。

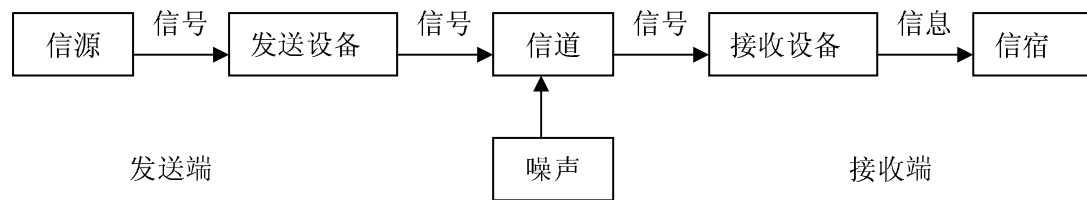


图 2-1 通信系统的基本模型

上述模型概括的反映了通信系统的共性，根据研究的对象及所关心的问题不同，将会使用不同形式的较具体的通信系统模型。

#### 2.1.1 通信系统的组成

由 2.1 节可知通信系统由信源、发送设备、信道、接收设备、信宿组成。先做如下简介。

##### 一、信源

信源是信息的产生者或是信息的形成者，根据信源产生信号的性质不同，可分为模拟信源和离散信源。模拟信源（如电话机和电视摄像机）输出幅度连续的信号；离散信源（如电传机、计算机等）输出离散的信号或文字。模拟信源可通过抽样和量化转换为离散信源。随着计算机和数字通信技术的发展，离散信源的种类和数量会越来越多。这里需要强调指出，随着信源和接收者的不同，信息的速率将在很大范围内变化。

##### 二、发送设备

发送设备的基本功能是将信源和传输媒介匹配起来，即将信源产生的消息信号变换为有利于传送的信号形式送往传输媒介。变换方式是多种多样的，在需要频率搬移时，调制是最常见的变换方式。发送设备还包括为达到某些特殊要求所进行的各种处理，如多路复用，保密处理和纠错编码处理等。

##### 三、信道

信道是指信号传输的媒介，信号是经过信道传输到接收设备的。传输媒介既可以有线的，也可以是无线的，二者都有多种传输媒介。

在信号传输过程中，必然会引入发送设备、接收设备和传输媒介的热噪声和各种干扰和衰减，即信号在信道中传输时，会产生信道噪声。

媒介的固有特性和干扰特性会直接影响变换方式的选取，如通过电导体传播的有线信道和通过自由空间传播的无线信道，其信号变换方式是不同的。不同频段的无线电波在空间传播的途径、性能和衰减（衰落）也是不同的。

#### 四、接收设备

接收设备的主要作用将来自信道的带有干扰的发送信号加以处理，并从中提取原始信息，完成发送过程的逆变换——解调和译码。对于多路复用信号，还包括多路去复用，实现正确分路。由于接收的消息信号存在噪声和传输损伤，接收设备还可能包含趋近理想恢复的某些措施和方法。

#### 五、信宿

信宿是将复原的原始信号转换为相应的消息。

应当指出，上述模型是点对点的单向通信系统。对于双向通信，通信双方都有发送设备和接收设备。对于多个用户之间的双向通信，为了能有效实现信息的有效传输，必须进行信息的交换和分发，由传输系统和交换系统组成的一个完整的通信系统或通信网络来实现。一个实际的通信系统往往由终端设备、传输链路和交换设备三大部分组成。

### 2.1.2 通信系统的分类

通信系统的分类方法很多，即可以按用途分，也可以按传输信号的特征分，还可以按传输信号的方式分。现简单介绍几下几种。

#### 一、按系统特征分

如果描述系统的参数不随时间的变化而变化，称这类系统为恒参系统；如果系统参数随时间而变化，则称之为变参系统或时变系统。如果系统变化是确知的，即系统参数是时间的确定函数，那么称这类系统为确定系统；反之，若系统参数是服从某种随机分布的随机过程，则称为随机系统。在数学上，系统模型一般采用系统输出（响应）、输入（激励）以及系统固有参数之间函数关系来表达。如果系统当前时刻的输出仅仅取决于当前时刻的系统输入，而与系统以往的输入无关，则称这样的系统为无记忆系统；反之如果系统的当前输出与输入信号的历史值有关，则称之为有记忆系统或动态系统。系统的输入输出可以是一个，也可以是多个。按照输入输出信号的数目可以将系统划分为单输入单输出的、单输入多输出的、多输入单输出的和多输入多输出的对于一般的有记忆系统输入输出信号中还可能既存在连续信号又存在离散信号，在这种情况下需要联合微分方程及差分方程来刻画系统行为。

#### 二、按传输媒介分

通信系统模型中的信道是指传输信息的媒介或信号的通道。按传输媒介分类，通信系统可分为有线和无线两大类。表 2-1 列出了常用的媒介及其用途。

表 2-1 常用传输媒介及其用途

频率范围	波长范围	表示符号	传输媒介	主要用途或场合
3Hz~30kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	VLF(甚低频)	有线线对（超长波）	音频、电话、数据终端
30~300kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	LF（低频）	有线线对（长波）	导航、信标、电力线、通信
300kHz ~ 3MHz	$10^3 \sim 10^2$ m	MF(中频)	同轴电缆（中波）	AM 广播、业余无线电
3~30 MHz	$10^2 \sim 10$ m	HF（高频）	同轴电缆（短波）	移动电话、短波广播、业余无线电
30~30 MHz	10~1m	VHF(甚高频)	同轴电缆（米波）	FM 广播、TV、导航、移动通信
300M~3GHz	1m ~ 10cm	UHF(特高频)	同轴电缆、波导（分米波）	TV、遥控测试、雷达、移动通信
3~30GHz	10~1cm	SHF(超高频)	波导（厘米波）	微波通信、卫星通信、雷达
30~300GHz	10~1mm	EHF(极高频)	波导（毫米波）	微波通信、雷达、射电天文学

### 三、按传输媒介类型分

通信中的信号是携带信息的某一物理量，在数学上一般表示为时间 $t$ 的函数。根据函数类型不同可以将信号分为模拟信号、数字信号、时间连续信号、时间离散信号等。如果信号在定义域（时间）上是连续的，称为时间连续信号，反之成为时间离散信号。如果一个时间连续信号的值域也是连续的，则称为模拟信号。而如果一个时间离散信号在值域上也是离散的，则称为数字信号，数字信号可以通过编码表示为二进制序列，这样的二进制序列也是数字信号，而数字信号调制可将数字信号映射为随时间连续变化的电波形，从波形函数的角度看，调制过程又将数字信号转化成了模拟信号。

按照链路层通信系统仿真模型中流通的信号类型不同，可将其划分为连续时间系统、离散时间系统、模拟系统、数字系统以及混合系统等。如果在系统中流通的信号类型不止一种，则该系统称为混合系统。其中模拟系统和数字系统组成分别如下图2-2、图2-3所示。

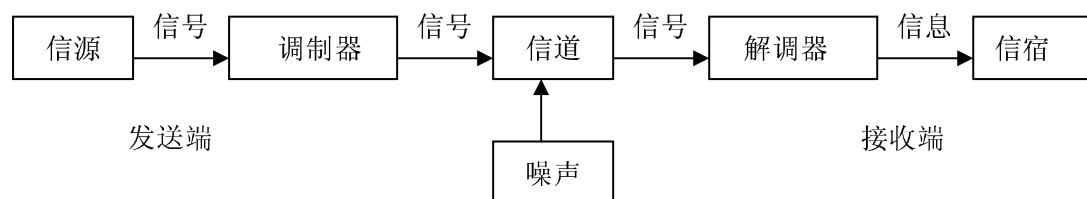


图 2-2 模拟通信系统的基本组成图

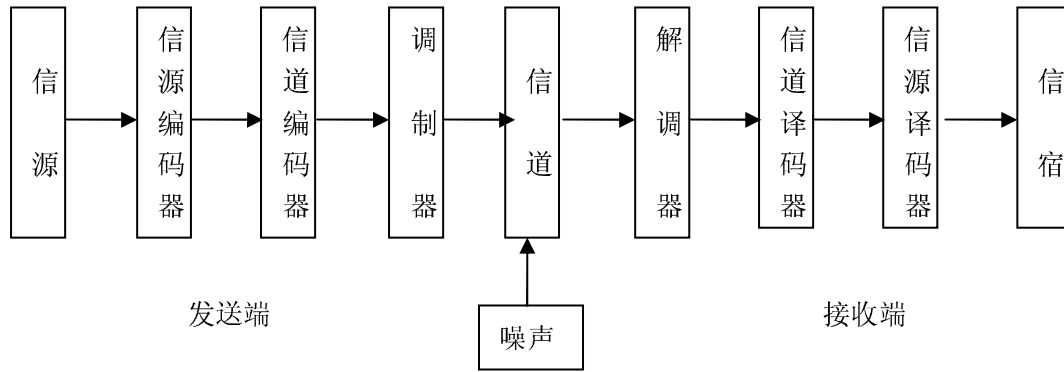


图 2-3 数字通信系统的基本组成图

### 2.1.3 通信方式

对于点对点之间的通信，按消息传送的方向与时间关系，通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

#### (1) 单工通信

所谓单工通信，是指消息只能单方向传输的工作方式。例如遥控、遥测，就是单工通信方式。单工通信信道是单向信道，发送端和接收端的身份是固定的，发送端只能发送信息，不能接收信息；接收端只能接收信息，不能发送信息，数据信号仅从一端传送到另一端，即信息流是单方向的。

#### (2) 半双工通信

这种通信方式可以实现双向的通信，但不能在两个方向上同时进行，必须轮流交替地进行。也就是说，通信信道的每一段都可以是发送端，也可以是接收端。但同一时刻里，信息只能有一个传输方向。如图 2-4 所示。对讲机、收发机等都是这种通信方式。

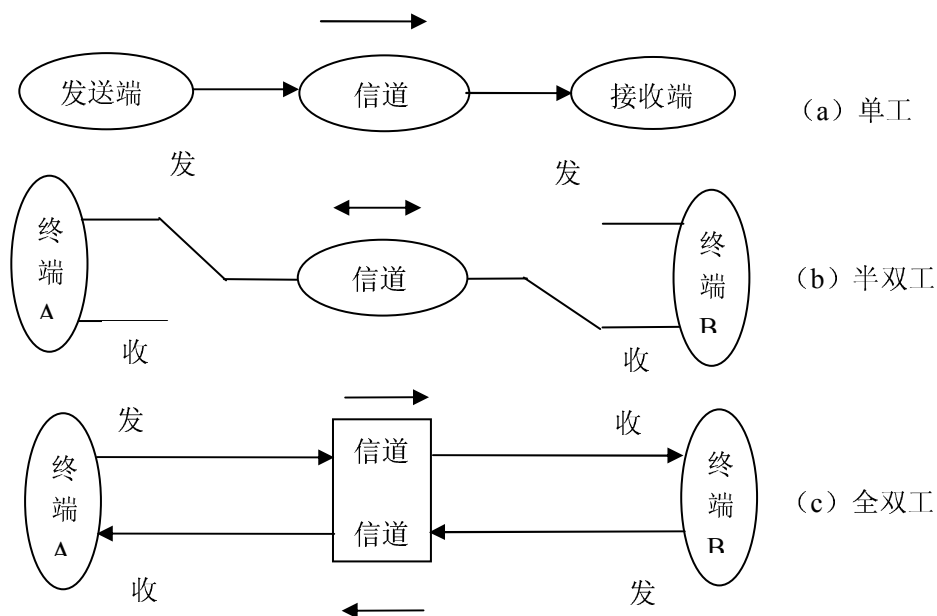


图 2-4 单工、半双工和全双工通信方式

### (3) 全双工通信

全双工是指在通信的任意时刻，线路上存在 A 到 B 和 B 到 A 的双向信号传输。全双工通信允许数据同时在两个方向上传输，又称为双向同时通信，即通信的双方可以同时发送和接收数据。在全双工方式下，通信系统的每一端都设置了发送器和接收器，因此，能控制数据同时在两个方向上传送。这种方式要求通讯双方均有发送器和接收器，同时，需要 2 根数据线传送数据信号。

## 2.2 Simulink 仿真基础

Simulink 是 20 世纪 90 年代初由 MathWorks 公司开发，是 MATLAB 环境下对动态系统进行建模、仿真和分析的一个软件包。Simulink 中的“Simu”一词表示可用于计算机仿真，而“Link”一词表示它能进行系统连接，即把一系列模块连接起来，构成复杂的系统模型。作为 MATLAB 的一个重要组成部分，Simulink 由于它所具有的上述的两大功能和特色，以及所提供的可视化仿真环境、快捷简便的操作方法，而使其成为目前最受欢迎的仿真软件。

### 2.2.1 Simulink 的启动与退出

#### 1. 启动 Simulink

单击 MATLAB Command 窗口工具条上的 Simulink 图标，或者在 MATLAB 命令窗口输入 `simulink`，即弹出图示的模块库窗口界面(Simulink Library Browser)。该界面右边的窗口给出 Simulink 所有的子模块库。如图 2-5 所示。

每个子模块库中包含同类型的标准模型，这些模块可直接用于建立系统的 Simulink 框图模型。可按以下方法打开子模块库：

用鼠标左键点击某子模块库(如【Continuous】)，Simulink 浏览器右边的窗口即显示该子模块库包含的全部标准模块。如图 2-6 所示。

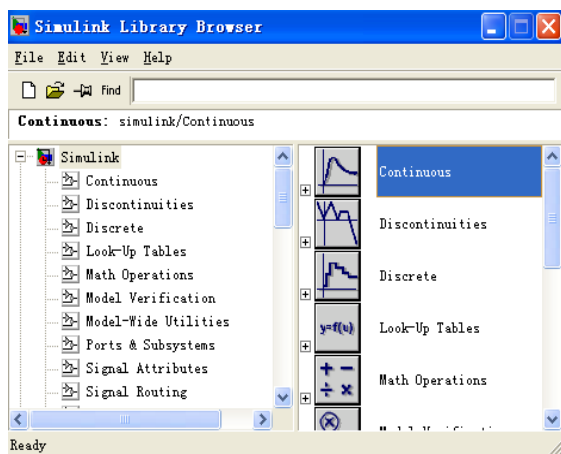


图 2-5 Simulink 模块库浏览器

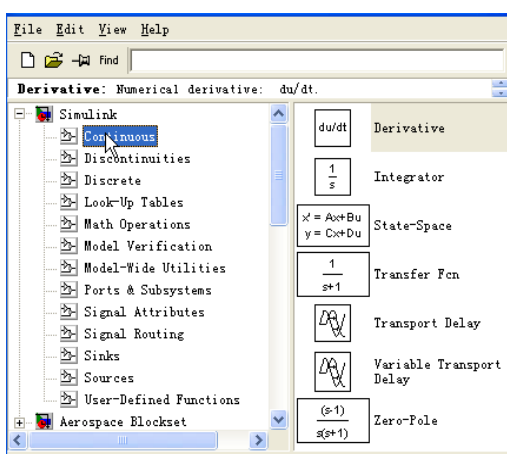


图 2-6 子模块库包含的标准模块

用鼠标右键点击 Simulink 菜单项，则弹出一菜单条，点击该菜单条即弹出



该子库的标准模块窗口.如单击图 2-7 中的【Sinks】，出现“Open the ‘Sinks’ Library”菜单条，单击该菜单条，则弹出图 2-8 所示的该子库的标准模块窗口。

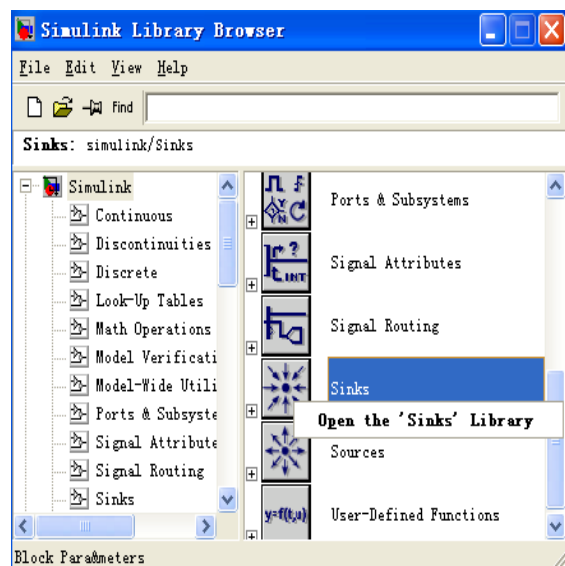


图 2-7 单击 Sinks 子库

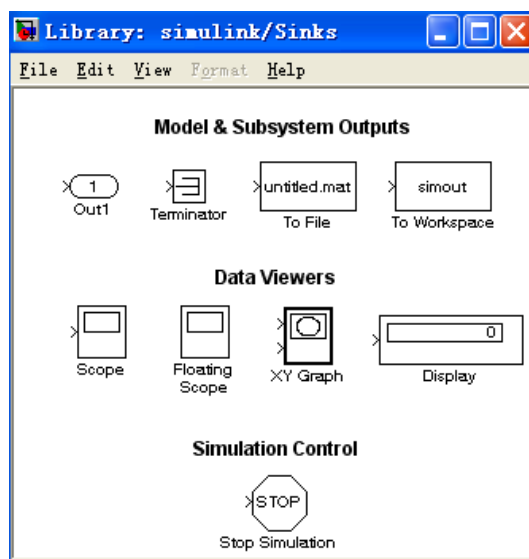


图 2-8 Sinks 子库的标准模块

## 2. 打开空白模型窗口

模型窗口用来建立系统的仿真模型。只有先创建一个空白的模型窗口，才能将模块库的相应模块复制到该窗口，通过必要的连接，建立起Simulink仿真模型。也将这种窗口称为Simulink仿真模型窗口。

以下方法可用于打开一个空白模型窗口：

- 在MATLAB主界面中选择【File:New→Model】菜单项；
- 单击模块库浏览器的新建图标；
- 选中模块库浏览器的【File : New → Model】菜单项。

所打开的空白模型窗口如图 2-9 所示。

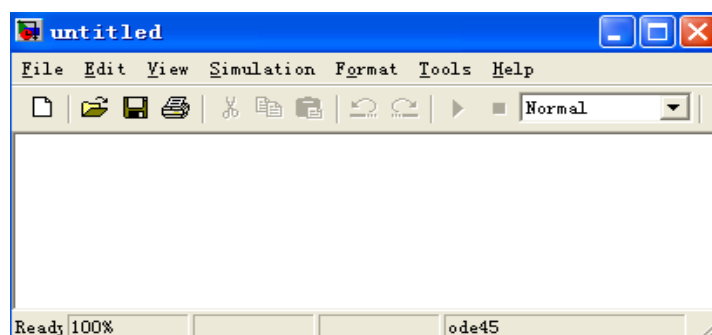


图 2-9 空白模型窗口

## 3. 退出 Simulink

要退出 Simulink，只需要关闭所有模型编辑窗口和 Simulink 模块库浏览器窗口即可。

## 2.2.2 Simulink 仿真参数设置及选择解法器

设置仿真参数和选择解法器，选择Simulation菜单下的Parameters命令，就会弹出一个仿真参数对话框如图2-10，它主要用三个页面来管理仿真的参数。

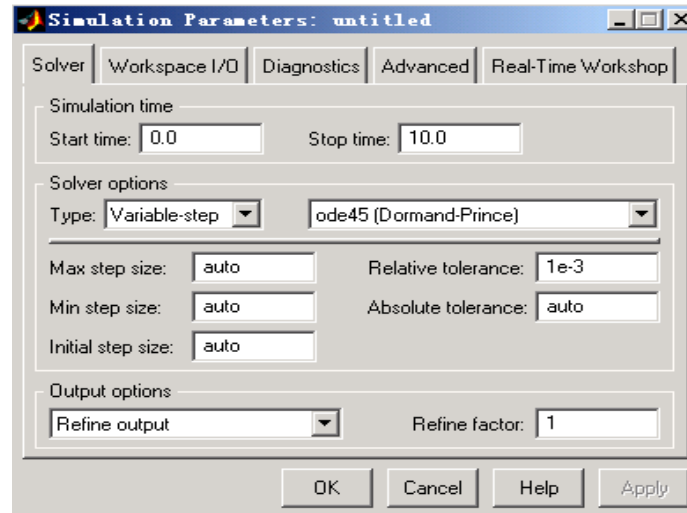


图 2-10 仿真参数对话框

### 一、Solver页

它允许用户设置仿真的开始和结束时间，选择解法器，说明解法器参数及选择一些输出选项。此页可以进行的设置有：选择仿真开始和结束的时间；选择解法器，并设定它的参数；选择输出项。

(1) 仿真时间：注意这里的时间概念与真实的时间并不一样，只是计算机仿真中对时间的一种表示，比如10秒的仿真时间，如果采样步长定为0.1，则需要执行100步，若把步长减小，则采样点数增加，那么实际的执行时间就会增加。

(2) 仿真步长模式：用户在Type后面的第一个下拉选项框中指定仿真的步长选取方式，可供选择的有Variable-step（变步长）和Fixed-step（固定步长）方式。变步长模式可以在仿真的过程中改变步长，提供误差控制和过零检测。固定步长模式在仿真过程中提供固定的步长，不提供误差控制和过零检测。

①变步长模式解法器有：ode45，ode23，ode113，ode15s，ode23s，ode23t，ode23tb和discrete。如图2-11所示。

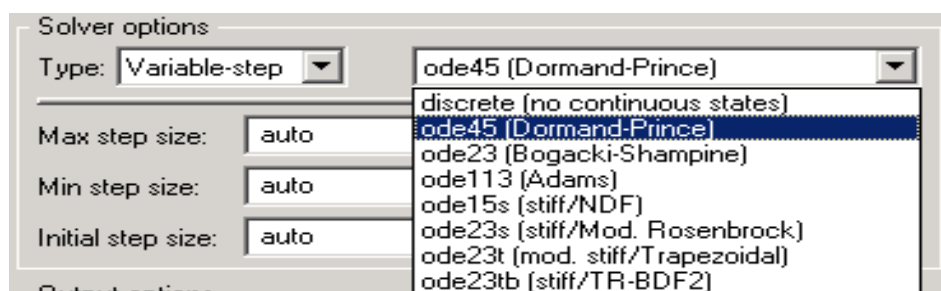


图2-11 变步长算法

ode45: 缺省值, 四/五阶龙格—库塔法, 适用于大多数连续或离散系统, 但不适用于刚性 (stiff) 系统。它是单步解法器, 也就是, 在计算 $y(tn)$ 时, 它仅需要最近处理时刻的结果 $y(tn-1)$ 。一般来说, 面对一个仿真问题最好是首先试试ode45。

ode23: 二/三阶龙格—库塔法, 它在误差限要求不高和求解的问题不太难的情况下, 可能会比ode45更有效。也是一个单步解法器。

ode113: 是一种阶数可变的解法器, 它在误差容许要求严格的情况下通常比ode45有效。ode113是一种多步解法器, 也就是在计算当前时刻输出时, 它需要以前多个时刻的解。

ode15s: 是一种基于数字微分公式的解法器 (NDFs)。也是一种多步解法器。适用于刚性系统, 当用户估计要解决的问题是比较困难的, 或者不能使用ode45, 或者即使使用效果也不好, 就可以用ode15s。

ode23s: 它是一种单步解法器, 专门应用于刚性系统, 在弱误差允许下的效果好于ode15s。它能解决某些ode15s所不能有效解决的stiff问题。

ode23t: 是梯形规则的一种自由插值实现。这种解法器适用于求解适度stiff的问题而用户又需要一个无数字振荡的解法器的情况。

ode23tb: 是TR-BDF2的一种实现, TR-BDF2是具有两个阶段的隐式龙格—库塔公式。

discretet: 当Simulink检查到模型没有连续状态时使用它。

②固定步长模式解法器有: ode5, ode4, ode3, ode2, ode1和discrete。如图2-12所示。

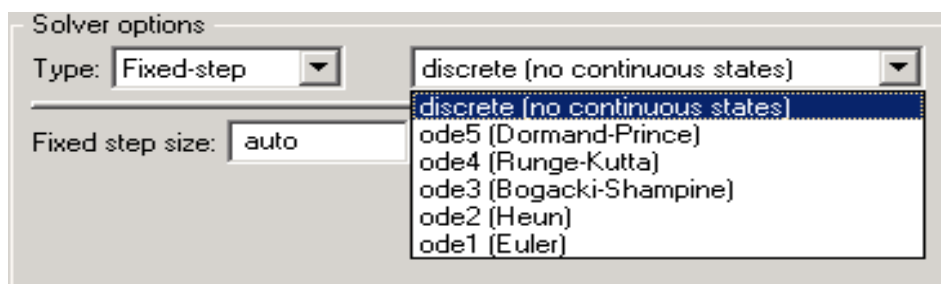


图2-12 变步长算法

ode5: 缺省值, 是ode45的固定步长版本, 适用于大多数连续或离散系统, 不适用于刚性系统。

ode4: 四阶龙格—库塔法, 具有一定的计算精度。

ode3: 固定步长的二/三阶龙格—库塔法。

ode2: 改进的欧拉法。

ode1: 欧拉法。

discrete: 是一个实现积分的固定步长解法器, 它适合于离散无连续状态的系统。

(3) 步长参数：对于变步长模式，用户可以设置最大的和推荐的初始步长参数，缺省情况下，步长自动地确定，它由值auto表示。

**Maximum step size**（最大步长参数）：它决定了解法器能够使用的最大时间步长，它的缺省值为“仿真时间/50”，即整个仿真过程中至少取50个取样点，但这样的取法对于仿真时间较长的系统则可能带来取样点过于稀疏，而使仿真结果失真。一般建议对于仿真时间不超过15s的采用默认值即可，对于超过15s的每秒至少保证5个采样点，对于超过100s的，每秒至少保证3个采样点。

**Initial step size**（初始步长参数）：一般建议使用“auto”默认值即可。

(4) 仿真精度的定义（对于变步长模式）

**Relative tolerance**（相对误差）：它是指误差相对于状态的值，是一个百分比，缺省值为1e-3，表示状态的计算值要精确到0.1%。

**Absolute tolerance**（绝对误差）：表示误差值的门限，或者是说在状态值为零的情况下，可以接受的误差。如果它被设成了auto，那么simulink为每一个状态设置初始绝对误差为1e-6。

(5) Mode（固定步长模式选择）

**Multitasking**：选择这种模式时，当simulink检测到模块间非法的采样速率转换，它会给出错误提示。通过检查这种转换，Multitasking将有助于用户建立一个符合现实的多任务系统的有效模型。

**Singletasking**：这种模式不检查模块间的速率转换，它在建立单任务系统模型时非常有用，在这种系统就不存在任务同步问题。

**Auto**：这种模式，simulink会根据模型中模块的采样速率是否一致，自动决定切换到multitasking和singletasking。

(6) 输出选项

**Refine output**：这个选项可以理解成精细输出，其意义是在仿真输出太稀疏时，simulink会产生额外的精细输出，这一点就像插值处理一样。用户可以在refine factor设置仿真时间步间插入的输出点数。

**Produce additional output**：它允许用户直接指定产生输出的时间点。一旦选择了该项，则在它的右边出现一个output times编辑框，在这里用户指定额外的仿真输出点，它既可以是一个时间向量，也可以是表达式。

**Produce specified output only**：它的意思是让Simulink只在指定的时间点上产生输出。为此解法器要调整仿真步长以使之和指定的时间点重合。这个选项在比较不同的仿真时可以确保它们在相同的时间输出。

## 二、Workspace I/O页

**Workspace I/O**页作用是管理模型从MATLAB工作空间的输入和对它的输出。此页主要用来设置Simulink与MATLAB工作空间交换数值的有关选项。

**Load from workspace:** 选中前面的复选框即可从MATLAB工作空间获取时间和输入变量，一般时间变量定义为t，输入变量定义为u。 **Initial state**用来定义从MATLAB工作空间获得的状态初始值的变量名。

**Save to workspace:** 用来设置存往MATLAB工作空间的变量类型和变量名，选中变量类型前的复选框使相应的变量有效。一般存往工作空间的变量包括输出时间向量、状态向量和输出变量。 **Final state**用来定义将系统稳态值存往工作空间所使用的变量名。

**Save option:** 用来设置存往工作空间的有关选项。**Limit rows to last**用来设定Simulink仿真结果最终可存往MATLAB工作空间的变量的规模，对于向量而言即其维数，对于矩阵而言即其秩；**Decimation**设定了一个亚采样因子，它的缺省值为1，也就是对每一个仿真时间点产生值都保存，而若为2，则是每隔一个仿真时刻才保存一个值。**Format**用来说明返回数据的格式，包括矩阵matrix、结构struct及带时间的结构struct with time。

### 三、Diagnostics页

**Diagnostics**页允许用户选择Simulink在仿真中显示的警告信息的等级。此页分成两个部分：仿真选项和配置选项。配置选项下的列表框主要列举了一些常见的事件类型，以及当SIMULINK检查到这些事件时给予的处理。仿真选项options主要包括是否进行一致性检验、是否禁用过零检测、是否禁止复用缓存、是否进行不同版本的SIMULINK的检验等几项。

除了上述3个主要的页外，仿真参数设置窗口还包括real-time workshop页，主要用于与C语言编辑器的交换，通过它可以直接从Simulink模型生成代码并且自动建立可以在不同环境下运行的程序，这些环境包括实时系统和单机仿真。

## 2.3 Simulink 模块库简介

Simulink模块库按功能进行分类，包括以下8类子库：连续模块、离散模块、函数和平台模块、数学模块、非线性模块、信号和系统模块、接收器模块、输入源模块。

### 1、连续模块（Continuous）

- Integrator: 输入信号积分
- Derivative: 输入信号微分
- State-Space: 线性状态空间系统模型
- Transfer-Fcn: 线性传递函数模型
- Zero-Pole: 以零极点表示的传递函数模型
- Memory: 存储上一时刻的状态值
- Transport Delay: 输入信号延时一个固定时间再输出

- Variable Transport Delay: 输入信号延时一个可变时间再输出
- 2、离散模块 (Discrete)
- Discrete-time Integrator: 离散时间积分器
- Discrete State-Space: 离散状态空间系统模型
- Discrete Transfer-Fcn: 离散传递函数模型
- Discrete Zero-Pole: 以零极点表示的离散传递函数模型
- First-Order Hold: 一阶采样和保持器
- Unit Delay: 一个采样周期的延时
- 3、函数和平台模块(Function&Tables)
- Fcn: 用自定义的函数(表达式)进行运算
- MATLAB Fcn: 利用matlab的现有函数进行运算
- S-Function: 调用自编的S函数的程序进行运算
- Look-Up Table: 建立输入信号的查询表(线性峰值匹配)
- Look-Up Table(2-D): 建立两个输入信号的查询表(线性峰值匹配)
- 4、数学模块 ( Math )
- Sum: 加减运算
- Product: 乘运算
- Dot Product: 点乘运算
- Gain: 比例运算
- Math Function: 包括指数函数、对数函数、求平方、开根号等常用数学函数
- Trigonometric Function: 三角函数, 包括正弦、余弦、正切等
- MinMax: 最值运算
- Abs: 取绝对值
- Sign: 符号函数
- Logical Operator: 逻辑运算
- Relational Operator: 关系运算
- Relational Operator: 关系运算
- Relational Operator: 关系运算
- Complex to Magnitude-Angle: 由复数输入转为幅值和相角输出
- Magnitude-Angle to Complex: 由幅值和相角输入合成复数输出
- Complex to Real-Imag: 由复数输入转为实部和虚部输出
- Real-Imag to Complex: 由实部和虚部输入合成复数输出
- 5、非线性模块 ( Nonlinear )
- Saturation: 饱和输出, 让输出超过某一值时能够饱和。
- Relay: 滞环比较器, 限制输出值在某一范围内变化。

- Switch: 开关选择, 当第二个输入端大于临界值时, 输出由第一个输入端而来, 否则输出由第三个输入端而来。
- Manual Switch: 手动选择开关
- 6、信号和系统模块 ( Signal&Systems )
- In1: 输入端
- Out1: 输出端。
- Mux: 将多个单一输入转化为一个复合输出。
- Demux: 将一个复合输入转化为多个单一输出。
- Ground: 连接到没有连接到的输入端。
- Terminator: 连接到没有连接到的输出端。
- SubSystem: 建立新的封装 (Mask) 功能模块
- 7、接收器模块 ( Sinks )
- Scope: 示波器
- XY Graph: 显示二维图形
- To Workspace: 将输出写入 MATLAB 的工作空间
- To File(.mat): 将输出写入数据文件。
- 8、输入源模块 ( Sources )
- Constant: 常数信号。
- Clock: 时钟信号。
- From Workspace: 来自 MATLAB 的工作空间。
- From File(.mat): 来自数据文件。
- Pulse Generator: 脉冲发生器。
- Repeating Sequence: 重复信号。
- Signal Generator: 信号发生器, 可以产生正弦、方波、锯齿波及随意波。
- Sine Wave: 正弦波信号。
- Step: 阶跃波信号。

## 2.4 Simulink 仿真简介

掌握 Simulink 基础操作之后便可对通信系统模块进行仿真, 本节主要介绍 Simulink 仿真模型构成及利用 Simulink 仿真的过程。

### 2.4.1 Simulink 仿真模型构成

一个典型的 Simulink 仿真模型由一下三种类型构成。

#### 1、信号源模块

信号源为系统的输入, 它包括常数信号源、函数信号发生器 (如正弦波和阶

跃函数等) 和用户自己在 MATLAB 中创建的自定义信号。

## 2、被模拟的系统模块

系统模块作为仿真的中心模块，它是仿真建模所要解决的主要问题。

## 3、输出显示模块

系统的输出由显示模块接收。输出显示的形式包括图形显示，示波器显示和输出到文件或 MATLAB 工作空间中三种，输出模块主要在 Sinks 模块库中。

构成 Simulink 仿真模型的三种模块的关联如图2-13。

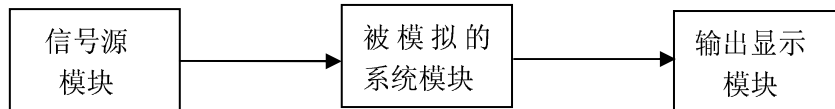


图2-13 Simulink 仿真模型结构的关联

Simulink 仿真模块模型的基本特点可归纳如下：

- Simulink 提供了许多如 Scope(示波器)的接收模块，这里用 Simulink 进行仿真，具有像做实验一般的图形化显示效果。
- Simulink 的模型具有层次性，通过底层子系统可以构建上层母系统。
- Simulink 提供了对子系统进行封装的功能，用户可以自定义子系统的图标和设置参数对话框。

### 2.4.2 仿真过程

启动 Simulink 后，便可在 Simulink 中进行建模仿真。Simulink 建模仿真的基本过程如下：

- 1)打开一个空白的 Simulink 模型窗口。
- 2)进入 Simulink 模块库浏览器界面，将相应模块库中所需要的模块拖动到编辑窗口里，集体操作是：用鼠标左键选中所需要的模块，然后将其拖动到需要仿真模型的窗口，松开鼠标，这时所需要的模块就出现在 Simulink 模型窗口中。
- 3)按照给定的框图修改编辑窗口中模块的参数。在 Simulink 环境下绘制模块，只能绘出带有默认参数的模型，为了满足用户的具体要求，有时需要对模块的具体参数进行设置，对模块参数设置时，首先双击该模块，打开此模块的参数设置对话框。在该参数设置对话框中，既可以查看模块的各默认参数，也可以根据需要修改各项参数设置。
- 4)将各个模块按给定的框图连接起来，搭建所需要的系统模型。
- 5)用菜单或命令窗口输入命令进行仿真分析，在仿真的同时，可以观察仿真结果，如果发现不正确的地方，可以停止仿真，对参数进行修正。
- 6)如果对结果满意，可以保存模型。



## 第3章 基于 MATLAB/Simulink 通信系统常用模块仿真

### 3.1 2ASK 数字调制与解调

本节主要介绍 2ASK 数字调制原理与理论基础以及利用 MATLAB/Simulink 实现 2ASK 调制与解调。

#### 3.1.1 2ASK 的基本原理及其调制解调

振幅键控是正弦载波的幅度随数字基带信号而变化的数字调制。当数字基带信号为二进制时，则为二进制振幅键控。设发送的二进制符号序列由 0, 1 序列组成，发送 0 符号的概率为 P，发送 1 符号的概率为 1-P，且相互独立。该二进制符号序列可表示为：

$$s(t) = \sum_n a_n g(t - nT_s) \quad (3-1)$$

其中：

$$a_n = \begin{cases} 0, & \text{发送概率为 } P \\ 1, & \text{发送概率为 } 1-P \end{cases} \quad (3-2)$$

$T_s$  是二进制基带信号时间间隔， $g(t)$  是持续时间为  $T_s$  的矩形脉冲：

$$g(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_s \\ 0, & \text{其它 } t \end{cases} \quad (3-3)$$

则二进制振幅键控信号可表示为：

$$e_{2ASK}(t) = \sum_n a_n g(t - nT_s) \cos \omega_c t \quad (3-4)$$

2ASK 信号的时间波形  $e_{2ASK}(t)$  随二进制基带信号  $s(t)$  通断变化，所以又称为通断键控信号(OOK 信号)。二进制振幅键控信号的产生方法如图 3-1 所示，上图是采用模拟相乘的方法实现，下图是采用数字键控的方法实现。

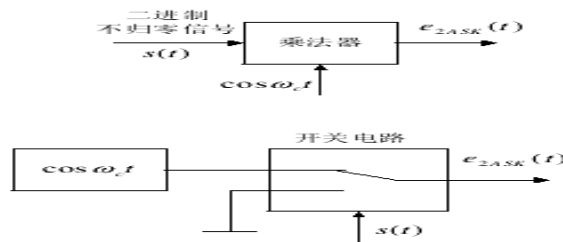


图 3-1 二进制振幅键控信号调制器原理框图

对 2ASK 信号能够采用非相干解调(包络检波法)和相干解调(同步检测法),其相应原理方框图如图 3-2 所示。

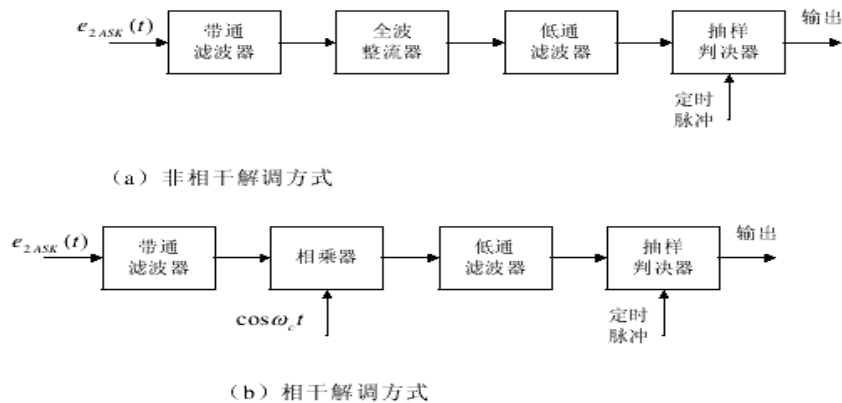


图 3-2 二进制振幅键控信号解调器原理框图

### 3.1.2 2ASK 的调制解调与仿真

#### 一、建立模型

##### (1) 建立模型方框图

2ASK 信号调制的模型方框图由 DSP 模块中的 sinwave 信号源、方波信号源、相乘器等模块组成, Simulink 模型如图 3-3 所示:

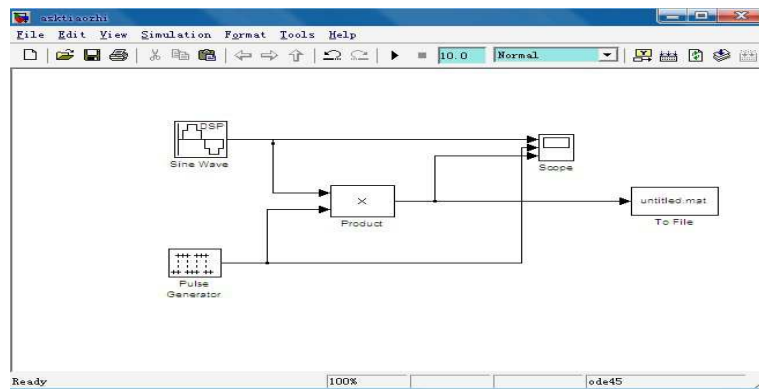


图 3-3 2ASK 信号调制的模型方框图

其中正弦信是载波信号, 方波代表  $S(t)$  序列的信号源, 正弦信号和方波相乘后就得到键控 2ASK 信号。

##### (2) 参数设置

建立好模型之后就要设置系统参数, 以达到系统的最佳仿真。设置其载波为幅度为 2 频率为 20Hz 采样周期为 0.002 的双精度 DSP 信号。数字方波信号是基于采样的, 其幅度设置为 2, 周期为 3, 占 1 比为 2/3。其设置参数如图 3-4、图 3-5 所示:

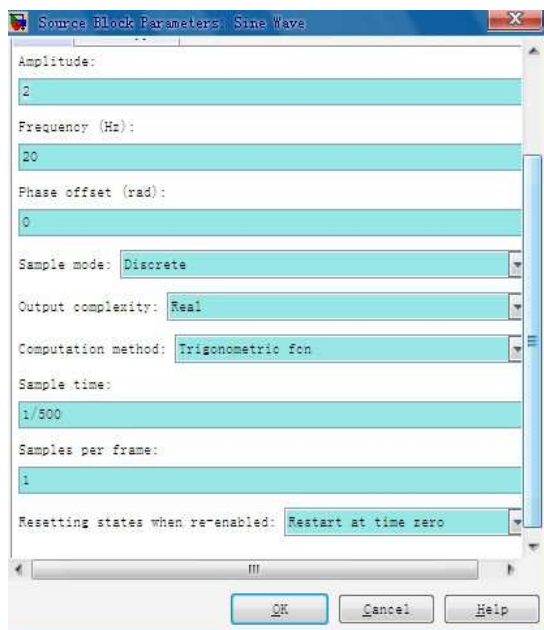


图 3-4 正弦信号参数设置

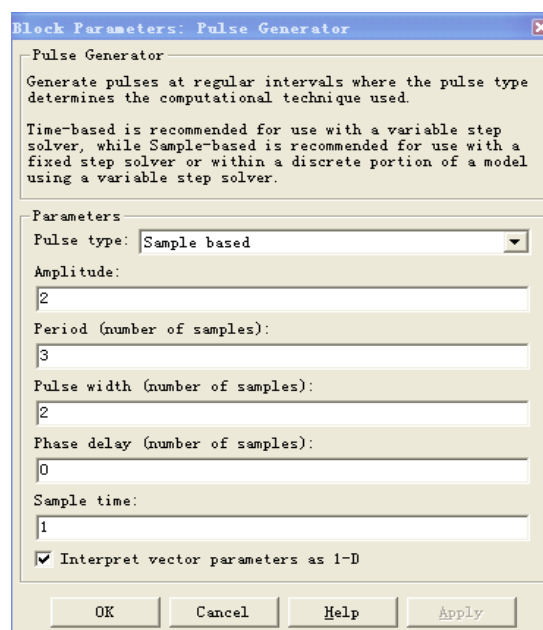


图 3-5 方波信号源的参数设置

### (3) 系统仿真及各点波形图

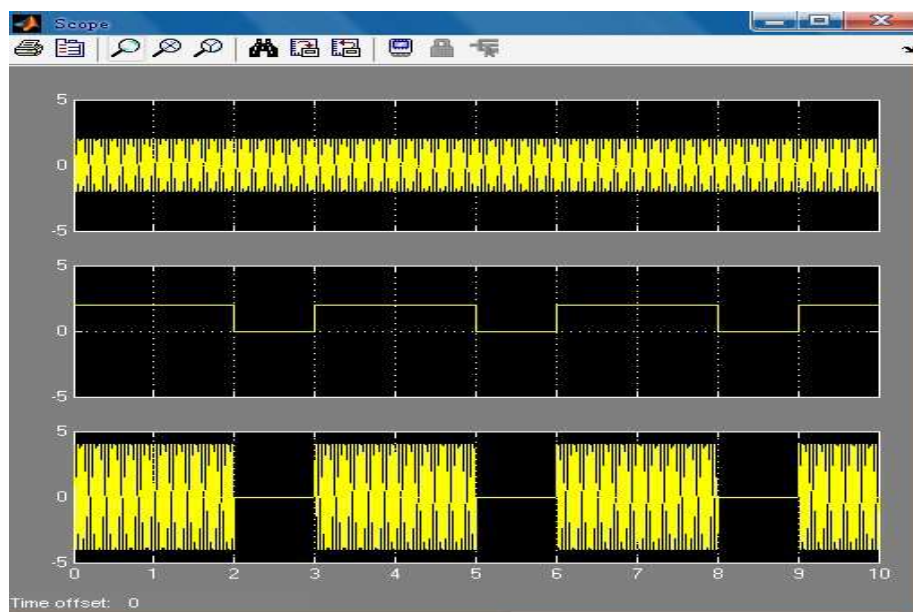


图 3-6 各点的时间波形图

经过上面参数的设置后，点击运行按钮就可以进行系统的仿真，如图 3-6 是示波器显示的各点的波形图。由图 3-6 可以看出信息源和载波信号相乘之后就产生了受幅度控制的 2ASK 信号。

### 二、2ASK 的解调仿真

2ASK 的解调分为相干解调和非相干解调法，下面采用相干解调法对 2ASK 信号进行解调。

#### (1) 建立 simulink 模型方框图

相干解调也叫同步解调，就是用已调信号恢复出载波——既同步载波。再用载波和已调信号相乘，经过低通滤波器和抽样判决器恢复出  $S(t)$  信号，Simulink 模型如图 3-7 所示。

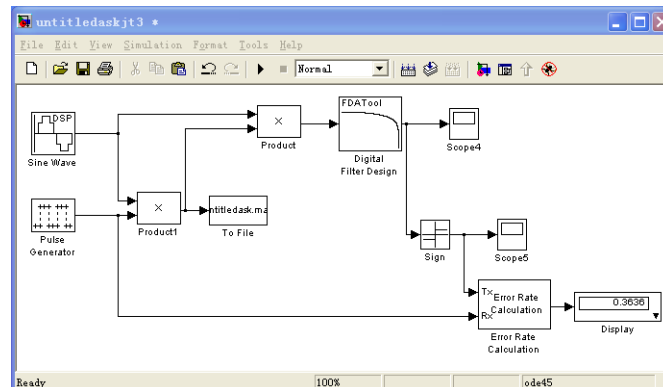


图 3-7 2ASK 相干解调的 Simulink 模型方框图

## (2) 参数设置

建立好模型之后，开始设置各点的参数，由于低通滤波器是滤去高频的载波，才能恢复出原始信号，所以为了使已调信号的频谱有明显的搬移，就要使载波和信息源的频率有明显的差别，所以载波的频率设置为 20Hz。为了更好的恢复出信源信号，所以在此直接使用原载波信号作为同步载波信号。如图 3-8 是低通滤波器的参数设置图。

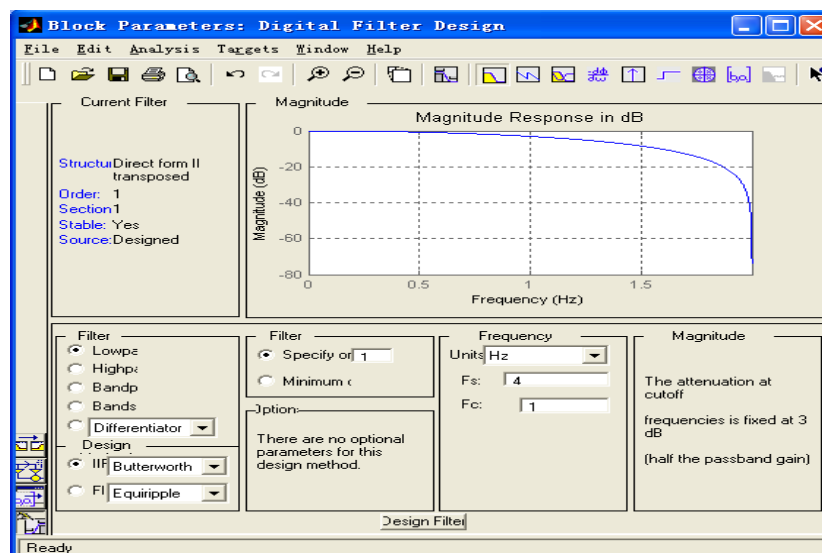


图 3-8 低通滤波器的参数设置图

## (3) 系统仿真及各点时间波形如图 3-9 所示。

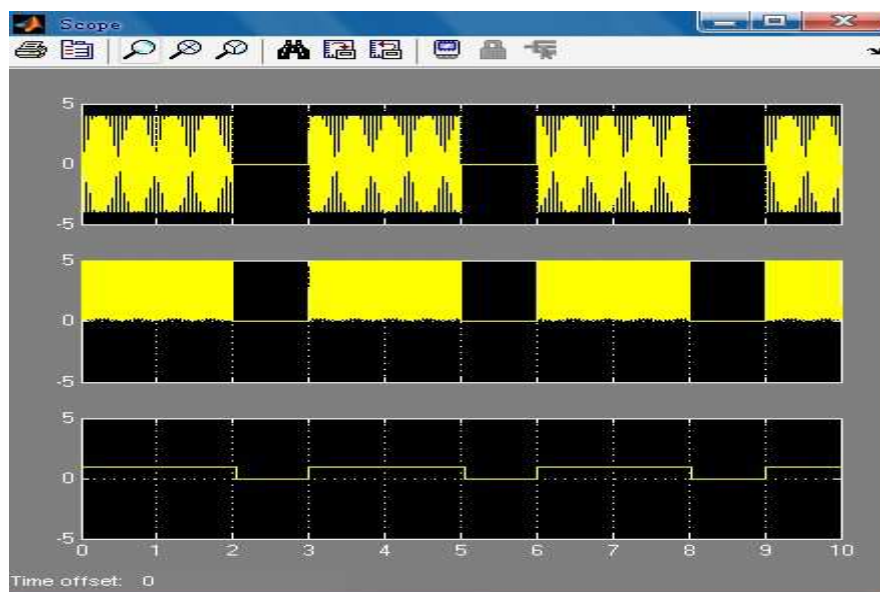


图 3-9 2ASK 信号解调的各点时间波形图

图 3-9 中最上面的波形是原始调制信号，中间是经过原始信号与载波相乘经过低通滤波器后的波形，最下面的波形是最后完全解调出来的信号。可以看出，原始的数字信号基本完全被还原了。从图中可以看出由于载波频率的提高使得示波器在波形显示上出现了一定的困难，不过要想显示调制部分的理想波形只要调整示波器的显示范围即可。

## 3.2 2FSK 数字调制与解调

数字频率调制又称频移键控（FSK），二进制频移键控记作 2FSK。数字频移键控是用载波的频率来传送数字消息，即用所传送的数字消息控制载波的频率。2FSK 信号便是符号“1”对应于载频  $f_1$ ，而符号“0”对应于载频  $f_2$ （与  $f_1$  不同的另一载频）的已调波形，而且  $f_1$  与  $f_2$  之间的改变是瞬间完成的。

从原理上讲，数字调频可用模拟调频法来实现，也可用键控法来实现。模拟调频法是利用一个矩形脉冲序列对一个载波进行调频，是频移键控通信方式早期采用的实现方法。2FSK 键控法则是利用受矩形脉冲序列控制的开关电路对两个不同的独立频率源进行选通。键控法的特点是转换速度快、波形好、稳定度高且易于实现，故应用广泛。

### 3.2.1 2FSK 的基本原理及调制解调

频移键控是利用两个不同频率  $f_1$  和  $f_2$  的振荡源来代表信号 1 和 0，用数字信号的 1 和 0 去控制两个独立的振荡源交替输出。对二进制的频移键控调制方式，其有效带宽为  $B=2x_F+2F_b$ ,  $x_F$  是二进制基带信号的带宽也是 FSK 信号的最大频偏，由于

数字信号的带宽即 $F_b$  值大, 所以二进制频移键控的信号带宽 $B$  较大, 频带利用率小。2-FSK 功率谱密度的特点如下:

(1) 2FSK 信号的功率谱由连续谱和离散谱两部分构成, 离散谱出现在 $f_1$  和 $f_2$  位置。

(2) 功率谱密度中的连续谱部分一般出现双峰。若两个载频之差 $|f_1 - f_2| \leq f_s$ , 则出现单峰。2FSK信号的产生方法主要是两种。第一种是用二进制基带矩形脉冲信号去调制一个调频器, 使其能够输出两个不同的频率的码元, 如图3-10; 第二种方法是用一个受基带脉冲控制的开关电路去选择两个独立频率源的振荡作为输出, 如图3-11。两者的区别是前者的相位是连续的, 后者由于两个独立的频率源产生的两个不同频率的信号, 故相邻码元的相位不一定是连续的。

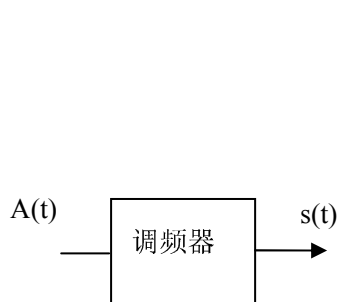


图 3-10

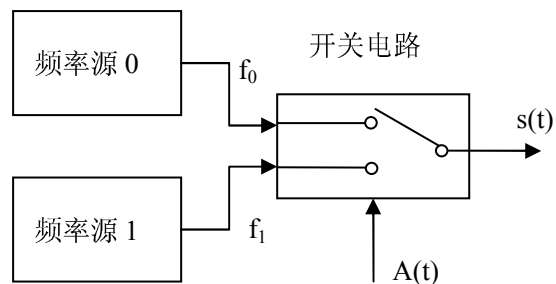


图 3-11

2-FSK 信号的接受也分为相干和非相干接收两类。最常用的解调方法是采用的相干检测法, 相干检测的具体解调电路是同步检波器, 原理方框图如图3-12所示。图中两个带通滤波器的作用同于包络检波法, 起分路作用。它们的输出分别与相应的同步相干载波相乘, 再分别经低通滤波器滤掉二倍频信号, 取出含基带数字信息的低频信号, 抽样判决器在抽样脉冲到来时对两个低频信号的抽样值 $V_0(t)$ 和 $V_1(t)$ 进行比较判决, 即可还原出基带数字信号。

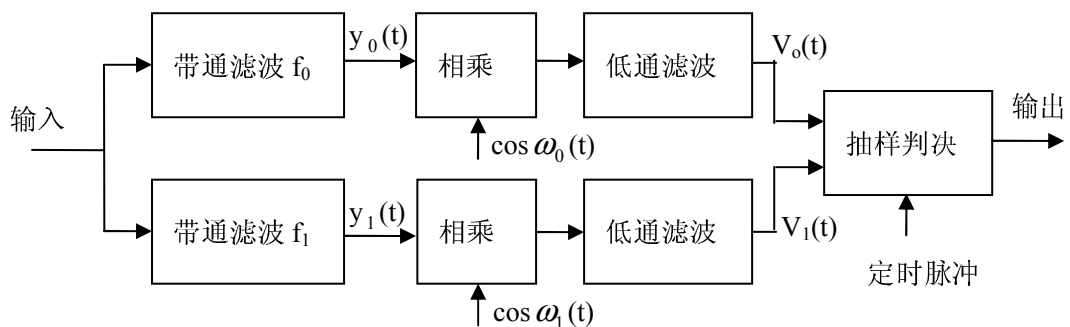


图 3-12 2FSK 信号的相干接收原理方框图

### 3.2.2 2FSK 的调制与解调

#### 一、模型建立

2FSK 信号是由频率分别为  $f_1$  和  $f_2$  的两个载波对信号源进行频率上的控制而形成的, 其中  $f_1$  和  $f_2$  是两个频率有明显差别的且都远大于信号源频率的载波信号, 2FSK 信号产生的 Simulink 仿真模型图如图 3-8 所示。

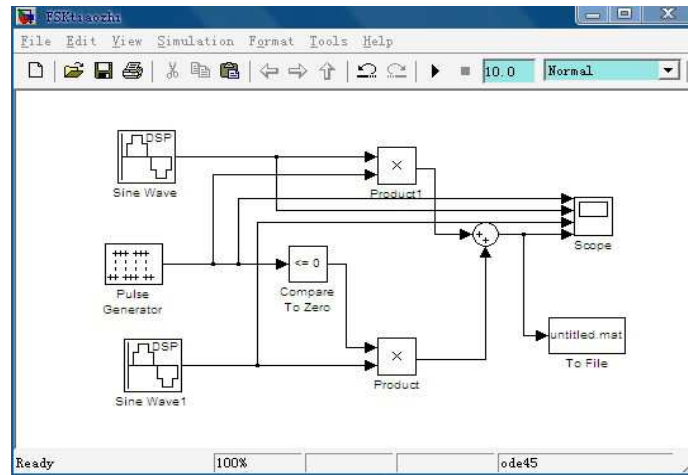


图 3-8 2FSK 信号的 Simulink 模型方框图

其中 sin wave 和 sin wave1 是两个频率分别为  $f_1$  和  $f_2$  的载波, Pulse Generator 模块是信号源, NOT 实现方波的反相, 最后经过相乘器和相加器生成 2FSK 信号, 各参数设置分别如图 3-9 和 3-10 所示。

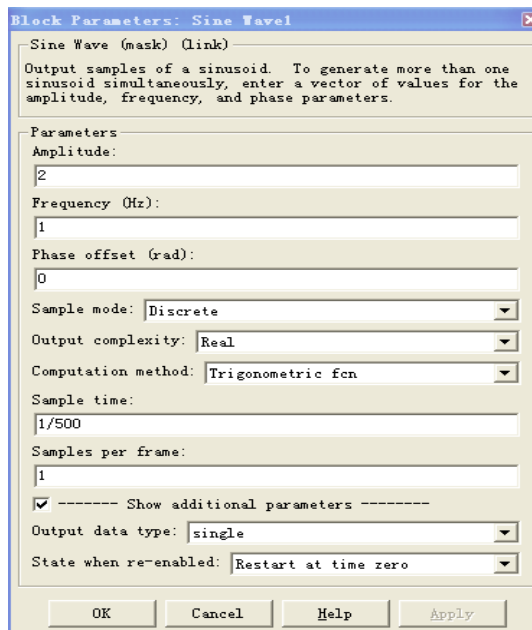


图 3-9 载波 sin wave 的参数设置

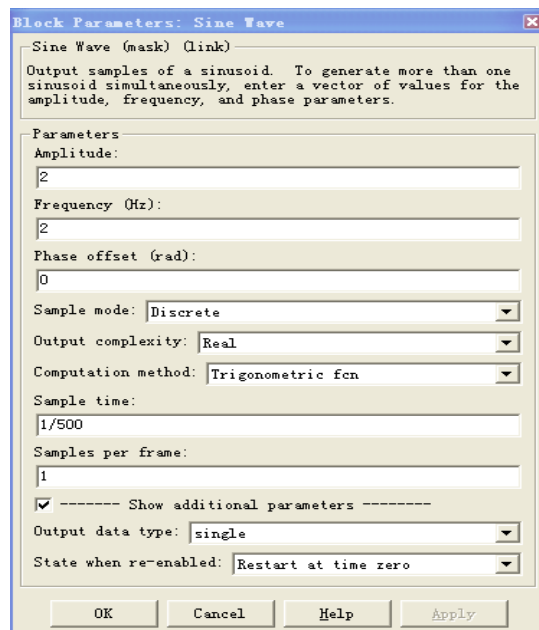


图 3-10 载波 sin wave1 的参数设置

其中幅度为 2,  $f_1=1\text{Hz}$ , 采样时间为 0.002s 在此选择载波为单精度信号。

载波是幅度为 2,  $f_2=2$ , 采样时间为 0.002 的单精度信号。本来信号源  $s(t)$  序列是用随机的 0 1 信号产生, 在此为了方便仿真就选择了基于采样的 Pulse Generator 信号模块其参数设置如图 3-11 所示。

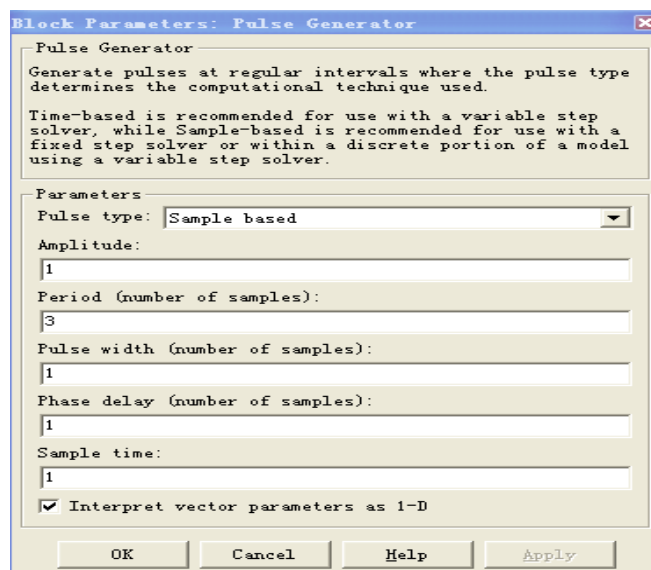


图 3-11 Pulse Generator 信号模块参数设置

其中方波是幅度为 1，周期为 3，占 1 比为 1/3 的基于采样的信号。经过以上参数的设置后就可以进行系统的仿真，其各点的时间波形如图 3-12。

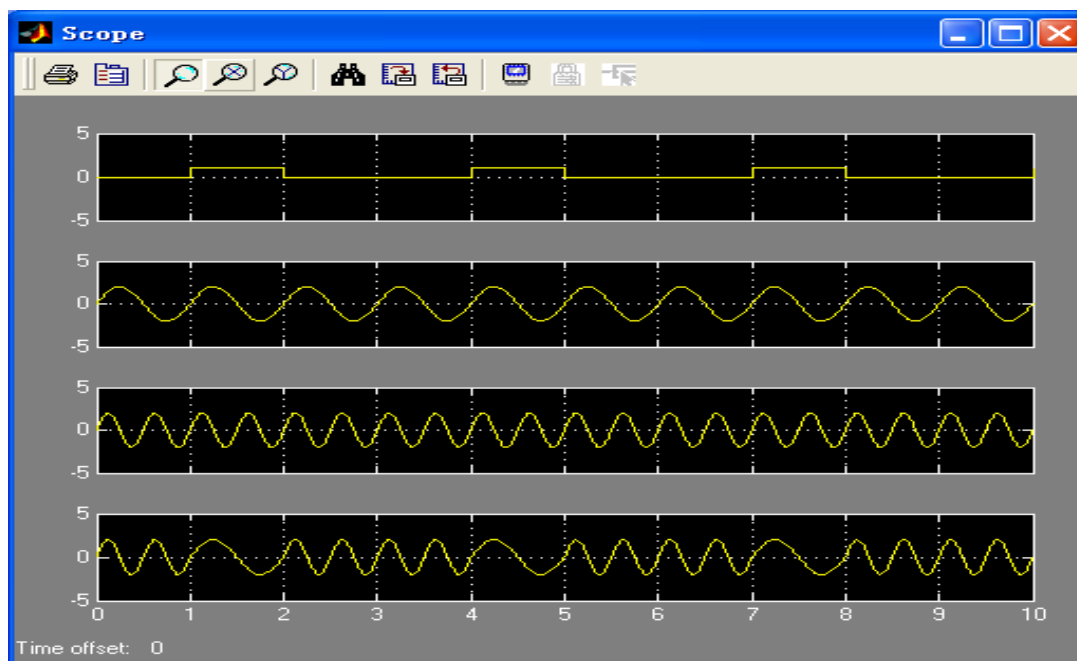


图 3-12 2FSK 信号调制各点的时间波形

由上图可以看出经过  $f_1$  和  $f_2$  两个载波的调制，2FSK 信号有明显的频率上的差别。

## 二、2FSK 的解调仿真

对 2FSK 信号的解调选用相干解调，为了能方便的解调出原始信号，选载波  $f_1$  为 100HZ,振幅为 2；载波  $f_2$  为 300HZ,振幅为 2。解调方框图如图 3-13 所示。



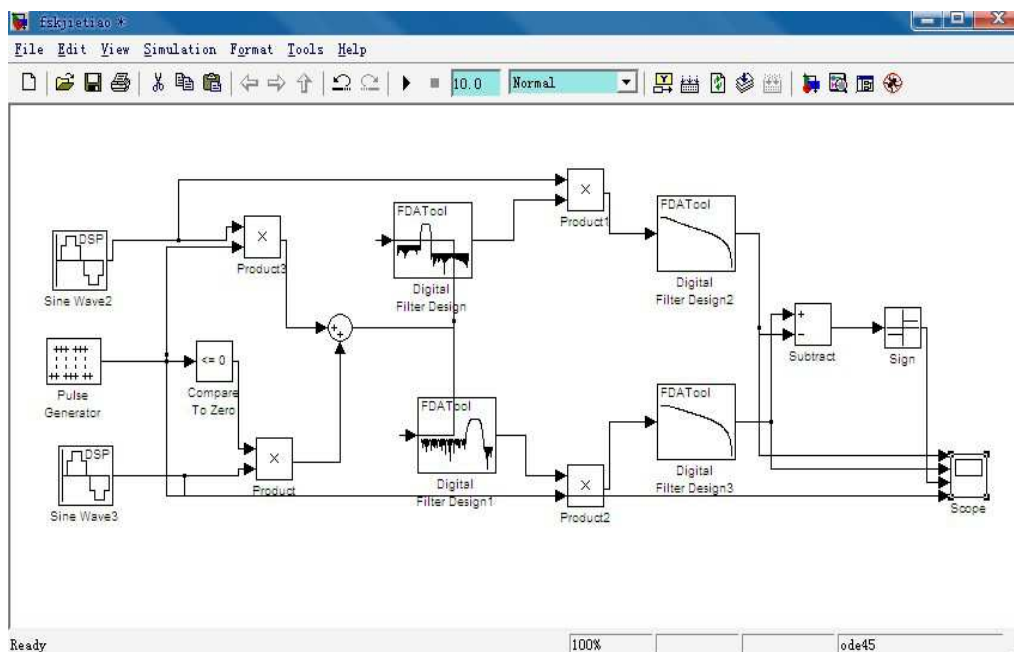


图 3-13 2FSK 信号解调方框图

两个带通滤波器分别将 2FSK 信号上下分频  $f_1$  和  $f_2$ , 后面就和 2ASK 信号的解调过程相同, 各参数设置如图 3-14。

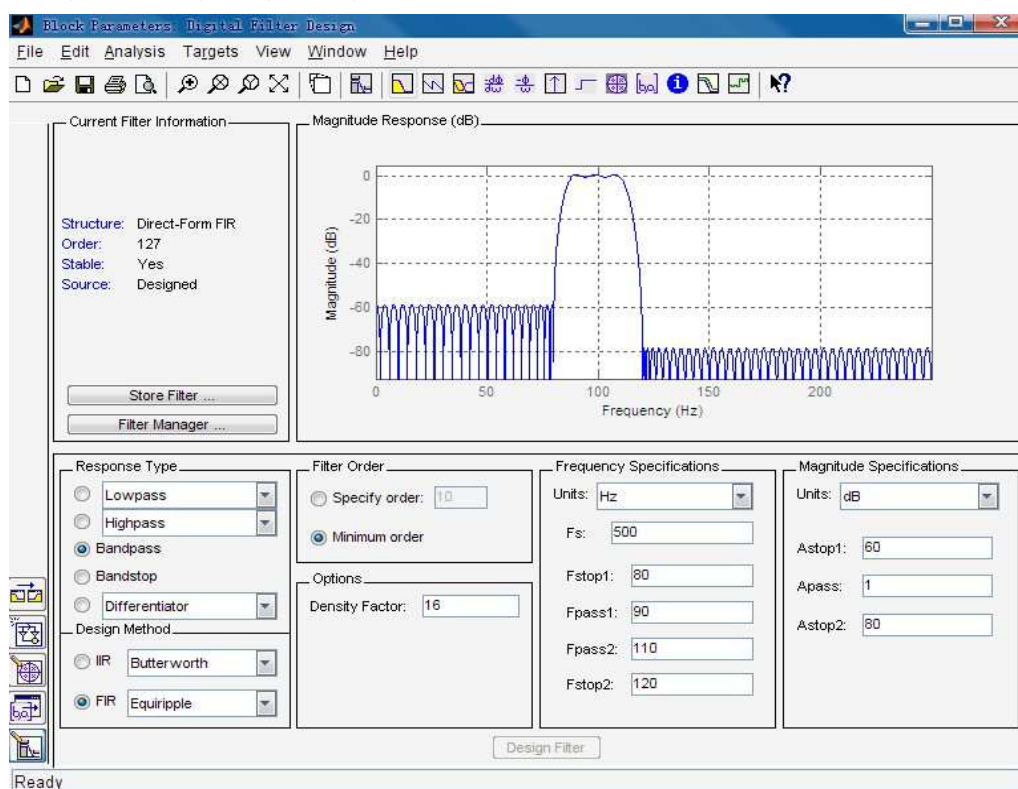


图 3-14 2FSK 信号  $f_1$  带通滤波器参数设置

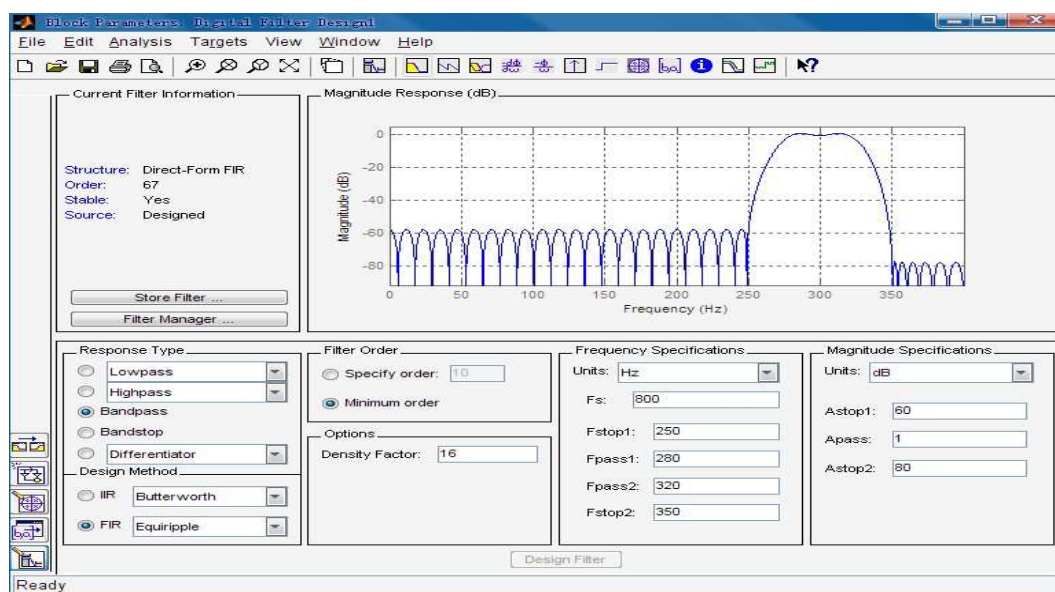


图 3-15 2FSK 信号 f2 带通滤波器参数设置

经过系统仿真后的各点时间波形如图 3-16 所示。

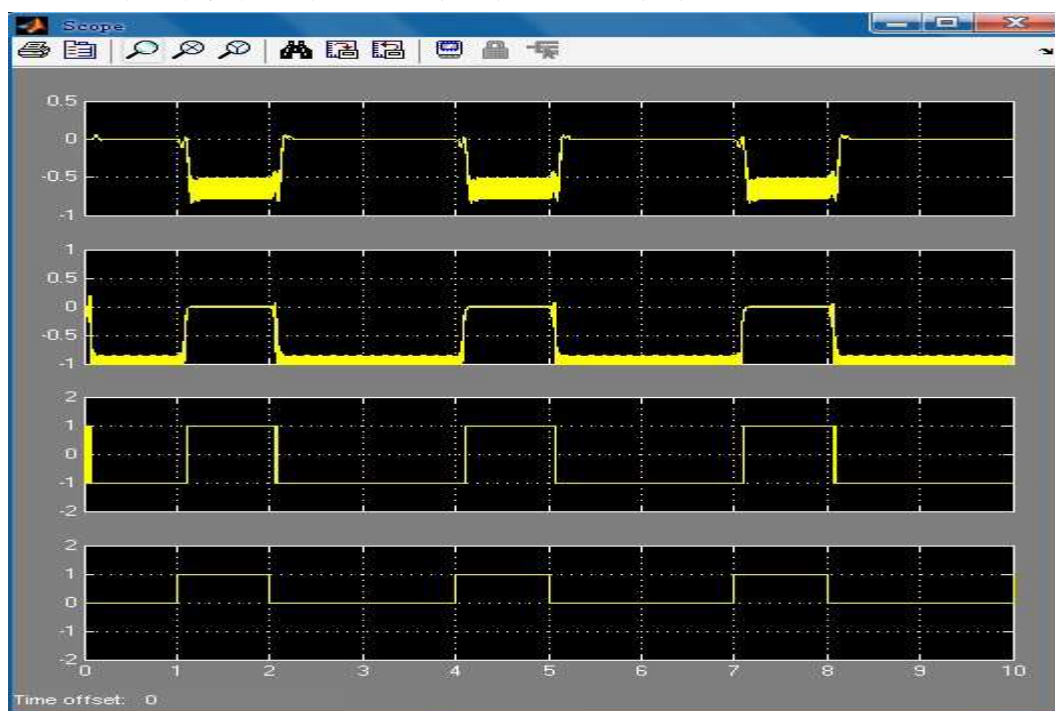


图 3-16 2FSK 信号解调各点时间波形

图中最上边的波形是频率为  $f_1$  分路经过相干解调和低通滤波后的波形；第二个波形是频率为  $f_2$  的分路经过相干解调和低通滤波后的波形；第三个波形是最后解调得到的波形；最后一个是原始的数字信号。由此图可以看出，最后解调得到的信号与原始信号相差无几，但是也存在误差，特别是在信号跳跃部分，误差比较明显。

## 第 4 章 蓝牙跳频通信系统仿真设计

### 4.1 蓝牙技术概述

蓝牙技术定义了便携式设备之间无线通信的物理媒介和电子通信协议。蓝牙不仅仅是一种简单的无线连接，而是一整套关于在特定范围内，不同便携式设备之间互联并识别的协议。

蓝牙技术结合了电路交换与分组交换的特点，可以进行异步数据通信，可以支持多达 3 个同时进行的同步语音信道，还可以使用一个信道同时传送异步数据和同步语音。每个语音信道支持 64kb/秒的同步语音链路。异步信道可以支持一端最大速率为 721kb/秒、另一端速率为 57.6kb/秒的不对称连接，也可以支持 43.2kb/秒的对称连接。

中间协议层包括逻辑链路控制和适应协议、服务发现协议、串口仿真协议和电话通信协议。逻辑链路控制和适应协议具有完成数据拆装、控制服务质量和复用协议的功能，该层协议是其它各层协议实现的基础。服务发现协议层为上层应用程序提供一种机制来发现网络中可用的服务及其特性。串口仿真协议层具有仿真 9 针 RS232 串口的功能。电话通信协议层则提供蓝牙设备间语音和数据的呼叫控制指令。

主机控制接口层（HCI）是蓝牙协议中软硬件之间的接口，它提供了一个调用基带、链路管理、状态和控制寄存器等硬件的统一命令接口。蓝牙设备之间进行通信时，HCI 以上的协议软件实体在主机上运行，而 HCI 以下的功能由蓝牙设备来完成，二者之间通过一个对两端透明的传输层进行交互。

在蓝牙协议栈的最上部是各种高层应用框架。其中较典型的有拨号网络、耳机、局域网访问、文件传输等，它们分别对应一种应用模式。各种应用程序可以通过各自对应的应用模式实现无线通信。拨号网络应用可通过仿真串口访问微微网（Piconet），数据设备也可由此接入传统的局域网；用户可以通过协议栈中的 Audio（音频）层在手机和耳塞中实现音频流的无线传输；多台 PC 或笔记本电脑之间不需要任何连线，就能快速、灵活地进行文件传输和共享信息，多台设备也可由此实现同步操作。

总之，整个蓝牙协议结构简单，使用重传机制来保证链路的可靠性，在基带、链路管理和应用层中还可实行分级的多种安全机制，并且通过跳频技术可以消除网络环境中来自其它无线设备的干扰。

## 4.2 蓝牙跳频系统各部分介绍

蓝牙跳频系统信号传输主要包含两部分：信号序列产生和在跳频频率上映射该序列。

在输入端，输入的是本地时钟和当前地址。其中，使用时钟的27为MSB。而在呼叫和查询状态下，将使用使用时钟的整个28位，在呼叫状态下，本地时钟将被修改为被叫单元对主单元的估计值。

地址输入位由28位组成，即整个LAP和UAP的4位LSB。在连接状态中，可使用主单元地址，在呼叫状态下使用呼叫地址单元。而在查询状态下，使用和GIAC对应的UAP/LAP。输出则构成一个伪随机序列。覆盖79跳还是23跳系统，取决于当前的状态。

对于79跳系统，将选择频率间隔为64MHz的32跳频段，并以随机次序访问这些频点一次。然后，选择一个不同的32跳频段，并以此类推。对于呼叫、呼叫扫描和呼叫应答状态，将使用同一个32跳频段。

信道被分为长度625us的时隙。时隙依据主时钟来进行编码。在各时隙中，个单元和从单元都能够传输分组。

下面以跳频速率为1600/s的跳频序列为例，实现信号传输部分仿真，如图4-1所示。

信号产生采用Bernoulli随机信号生成模块生成帧采样率为10、采样时间为1.5e-6的随机信号具体参数设置如图4-2所示。信号经预处理在1600/s的跳频上进行映射。各模块参数设置如图4-3至图4-5所示。

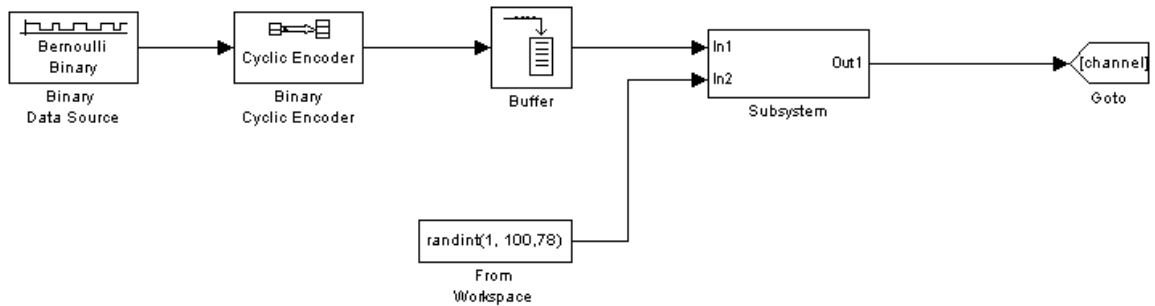


图4-1 跳频系统传输部分仿真

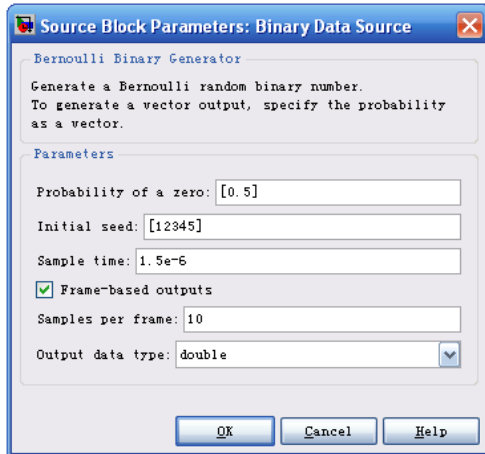


图4-2 信号生成模块参数设置

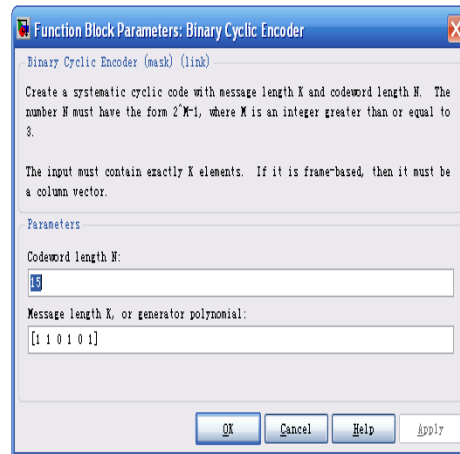


图4-3 Shortend Hamming模块参数设置

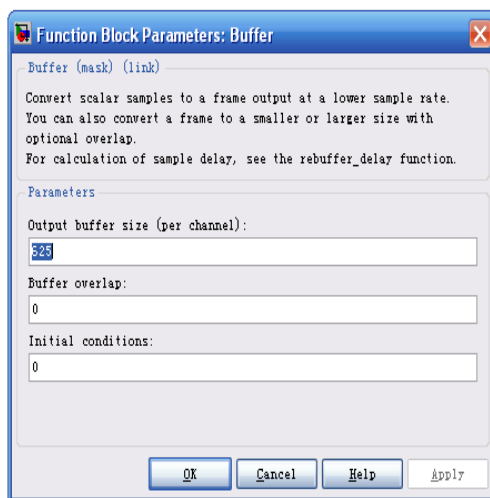


图4-4 模块参数设置窗口

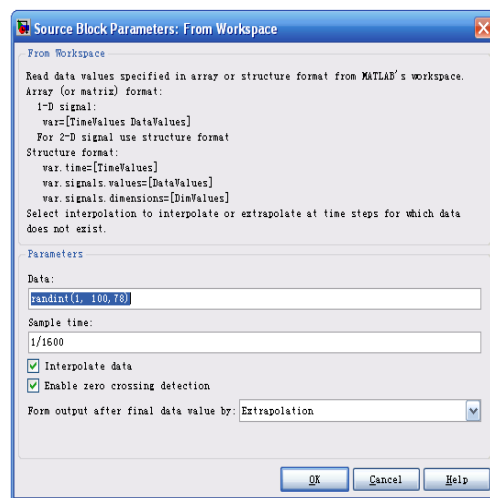


图4-5 Signal From Workspace  
模块参数设置窗口

其中,跳频调制方式采用FH-CPM制式调制,该子系统内部结构如图4-6所示,输入in1将原始信号进行CPM调制得到脉冲长度为1的Binary的符号序列,在另一输入端将调频速率为1600/s的跳频信号进行M-FSK调制,得到-39MHz~39MHz的跳频序列,将二者相乘得到输出信号进入传输信道。各模块的参数设置如图4-6~图4-8所示。

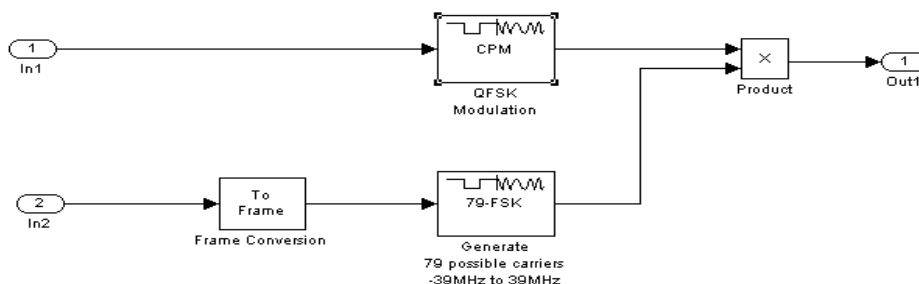


图4-6 FH-CPM Modulaor子系统

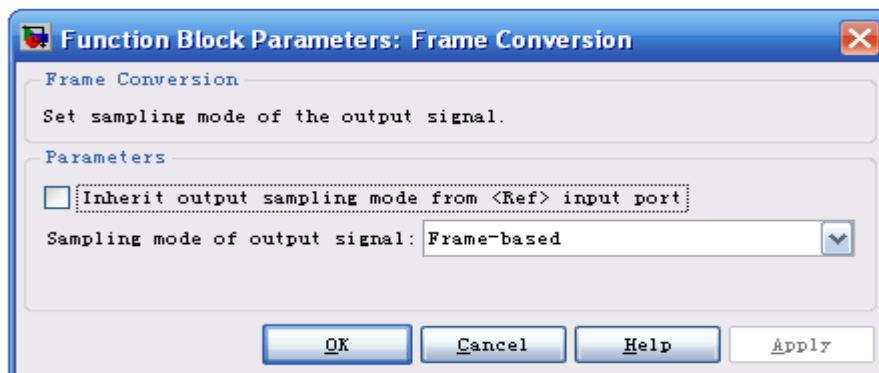


图4-7 Fram Status Conversion模块参数设置窗口

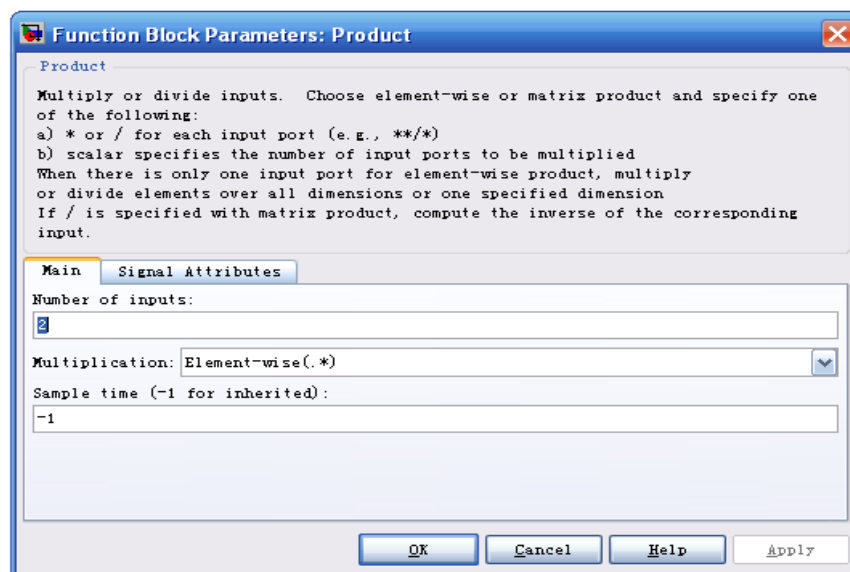


图4-8 Product模块参数设置窗口

### 4.2.1 信号接收部分

信号接收部分利用相同的随机跳频序列将接收信号进行调解,按预处理的逆序进行调解,其仿真实现如图4-9所示。其中包含两个子系统: FH-CPM Demulator子系统和Dis-assemble Packet子系统。

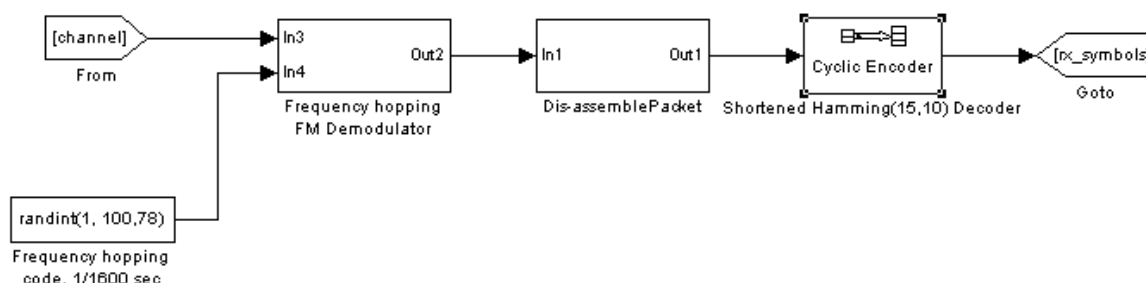


图4-9 信号接收部分仿真

#### (1) FH-CPM Demulator子系统

FH-CPM Demulator子系统内部结构如图4-10所示,该子系统有两个输入端,

in1是经传输信道接收的扩频信号，in2是随机序列产生器输入的随机跳频序列，它与发送端应保持同步，该序列经M-FSK调制与in1中的信号相乘再进行M-FSK解频，得到输出out1。各模块的参数设置如图4-11~4-15所示。

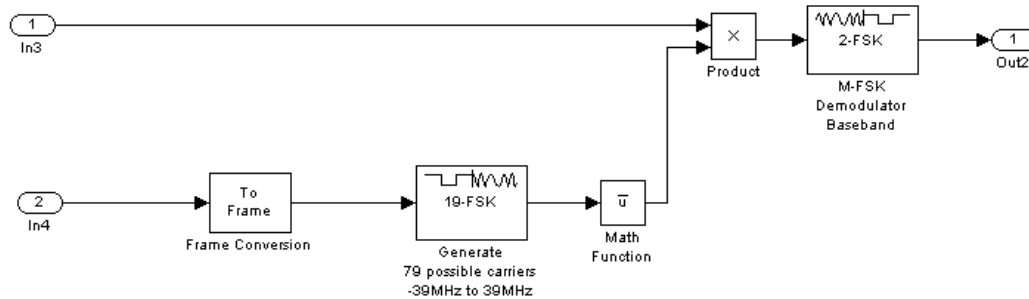


图4-10 FH-CPM Demodulator子系统

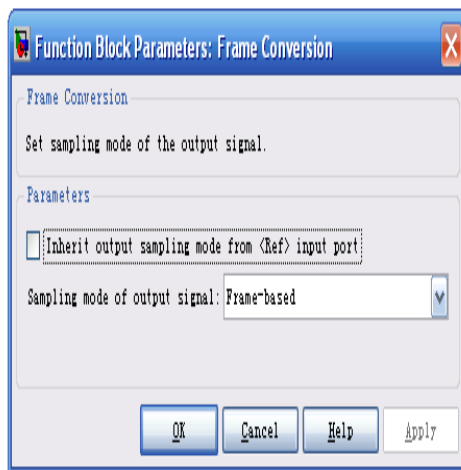


图4-11 To Frame模块参数设置窗口

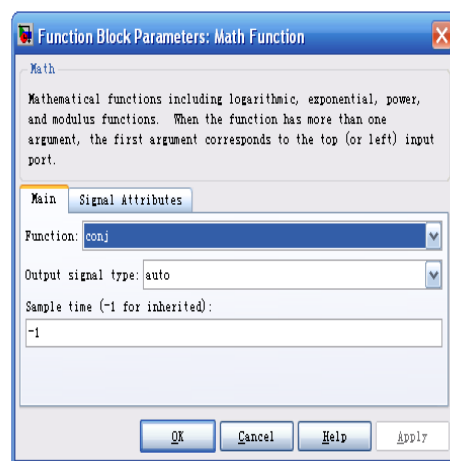


图4-12 conj模块参数设置窗口

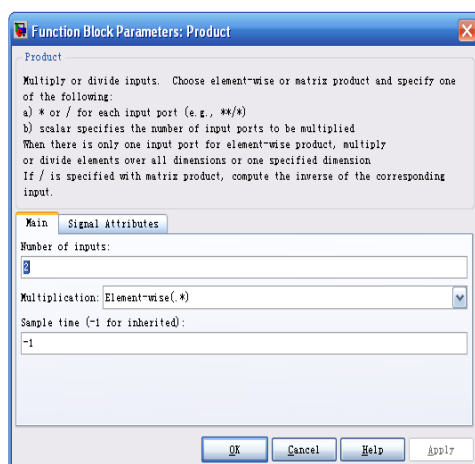


图4-13 Product模块参数设置窗口

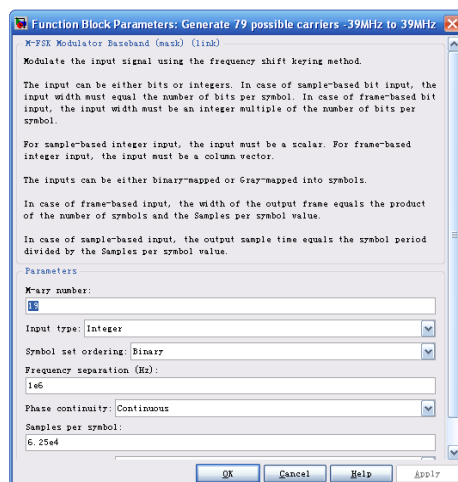


图4-14 M-FSK Modulator模块参数设置窗口

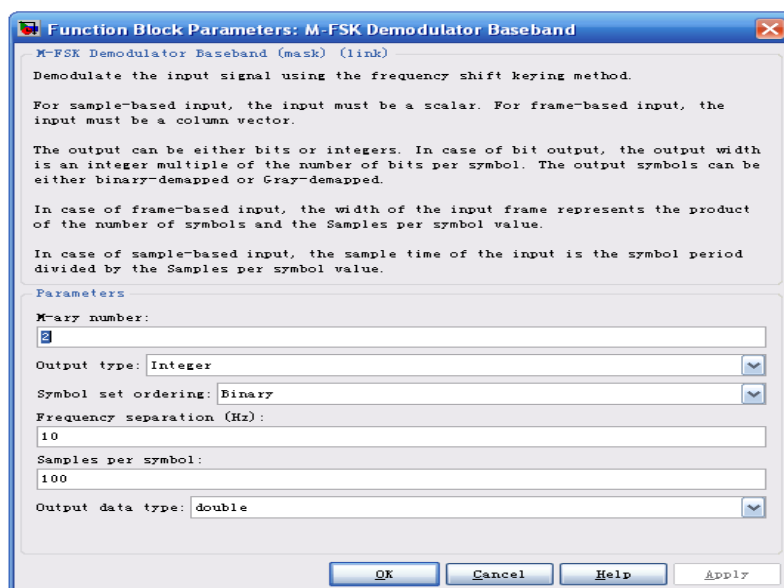


图4-15 M-FSK Demodulator模块参数设置窗口

## (2) Dis-assemble Packet子系统

Dis-assemble Packet子系统内部结构如图4-16所示，由于经信道传输产生延迟，因此在Dis-assemble Packet中增加延迟Integer Delay，采样延迟设置为10。子系统各模块的参数设置如图4-17、4-18所示。

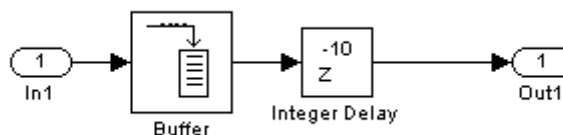


图4-16 Dis-assemble Packet子系统

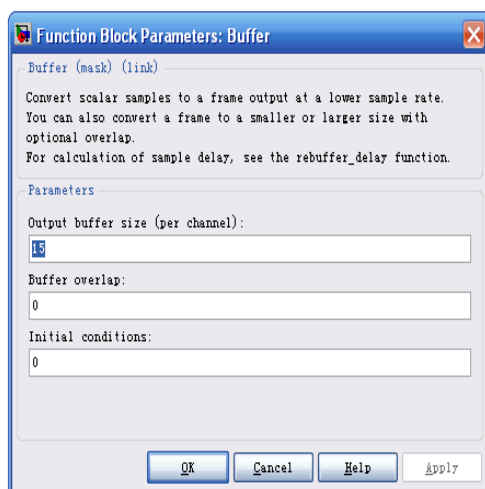


图4-17 Buffer模块参数设置窗口

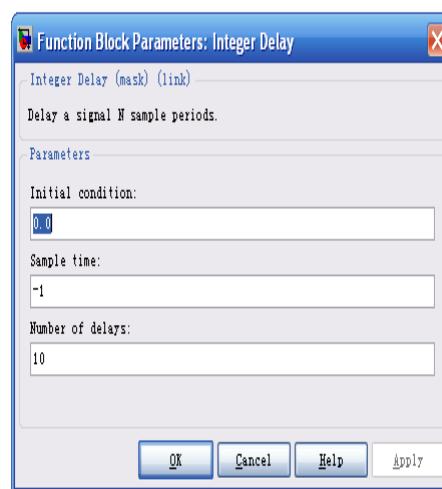


图4-18 Delay模块参数设置窗口

信号接收系统其余模块的参数设置如图4-19所示。



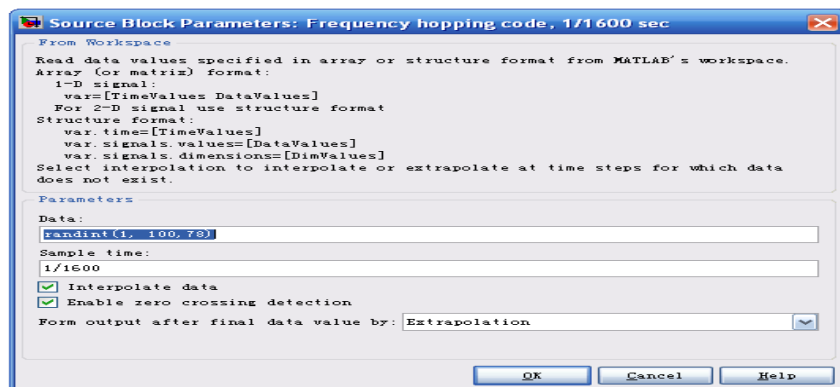


图4-19 Singnal From Workspece模块参数设置窗口

## 4.2.2 谱分析

为了在仿真系统中观察结果，这里设置了频谱分析模块，其结构如图4-20所示。信号通过选择器，在频谱仪Spectrum Scope中显示出来，模块参数如图4-21、4-22所示。

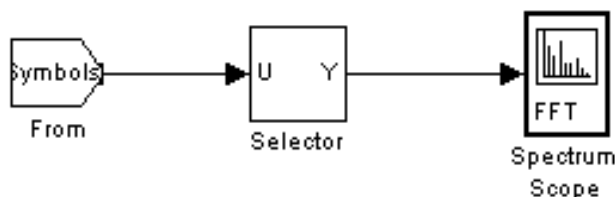


图4-20 频谱分析模块

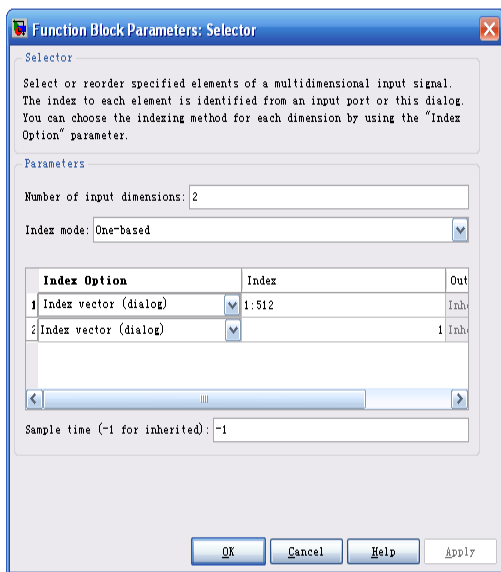


图4-21 Selector模块参数设置窗口

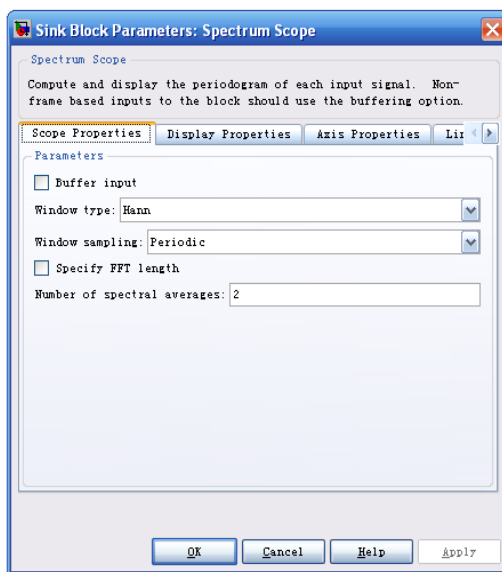


图4-22 Spectrum Scope模块参数设置窗口

### 4.2.3 误码分析部分

误码分析部分的设计如图4-23所示，其原理是将传输信号（Tx\_Symbols）和接收信号（Rx\_Symbols）送入Error Rate Calculation（差错检验），并将结果参数使用Display模块显示出来，模块参数设置如图4-24、4-25所示。

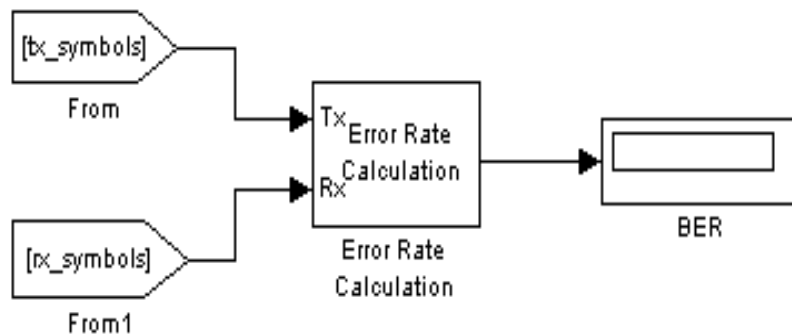


图4-23 误码分析模块

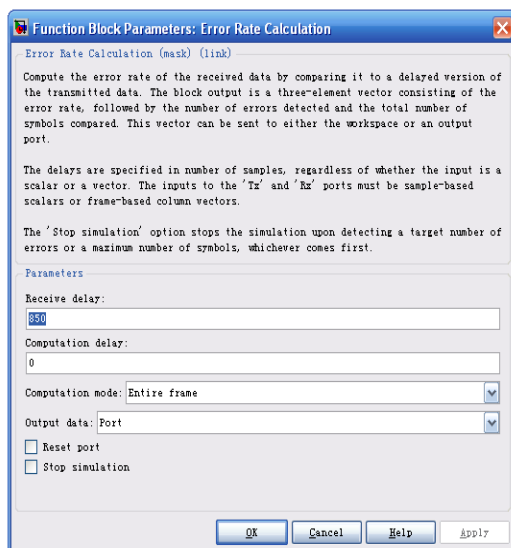


图4-24 Error Rate Calculation模块参数设置窗口

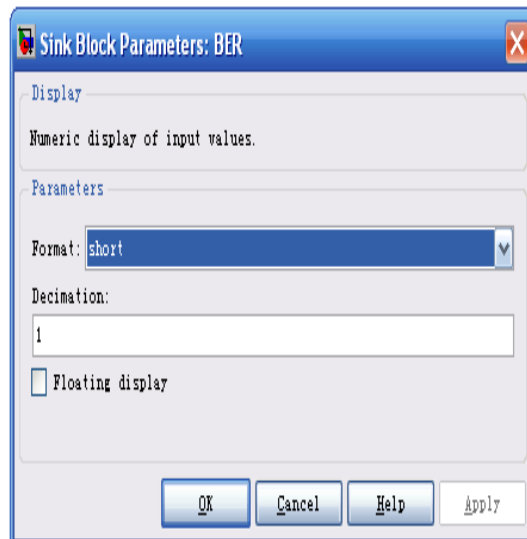


图4-25 Display模块参数设置窗口

## 4.3 蓝牙跳频系统的仿真模型

蓝牙跳频系统仿真模型如图4-26所示，传输信道采用加性高斯白噪声信道（AWGN）。相关模块的参数设置如图4-27~4-39所示。

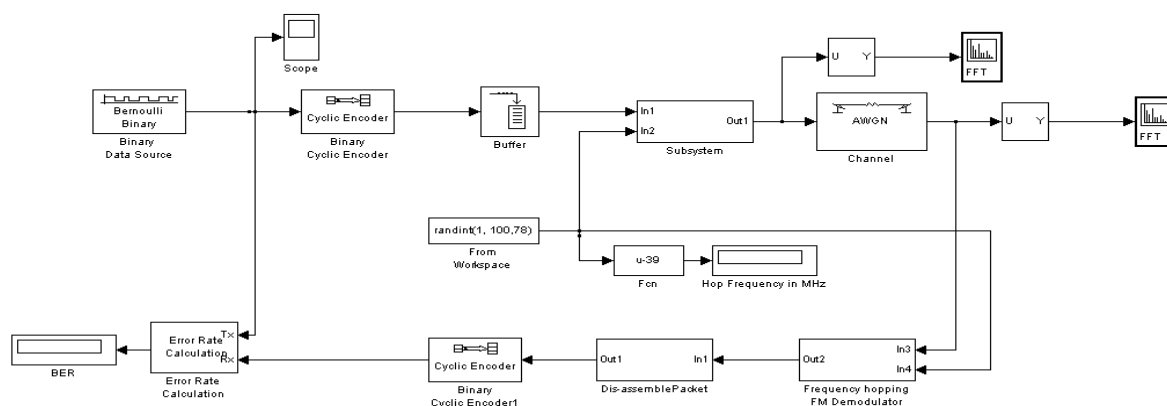


图4-26 蓝牙跳频系统仿真模型

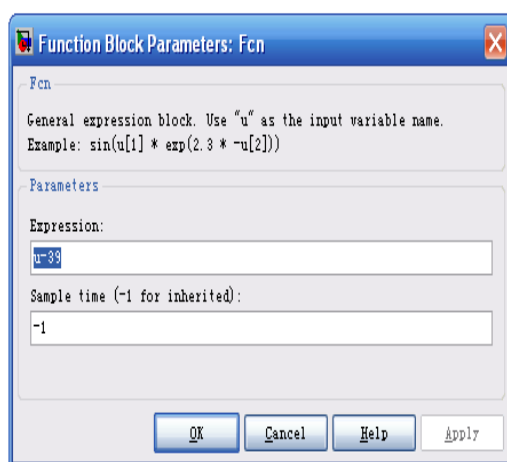


图4-27 Fun模块参数设置窗口

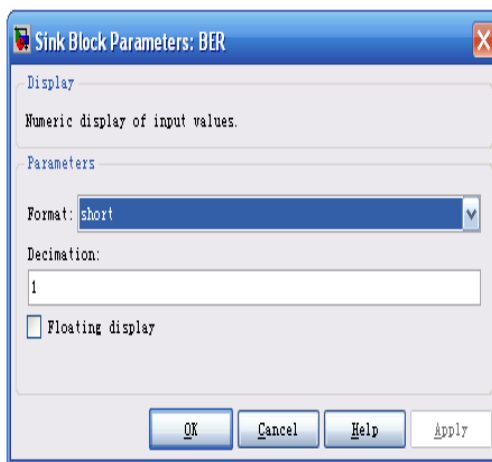


图4-28 Display模块参数设置窗口

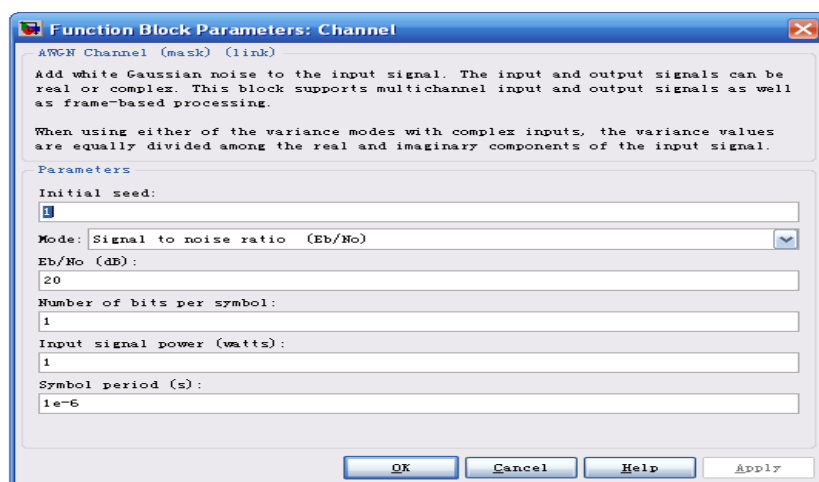


图4-29 传输信道模块参数设置窗口

## 4.4 系统运行分析

在上面给出的仿真条件下，观察仿真运行情况。系统仿真结果频谱如图4-30

所示，在频带范围-39MHz~39MHz内，产生20个分贝的随机跳频脉冲，经信道传输的信号频谱如图4-31所示，产生的误码率为0。

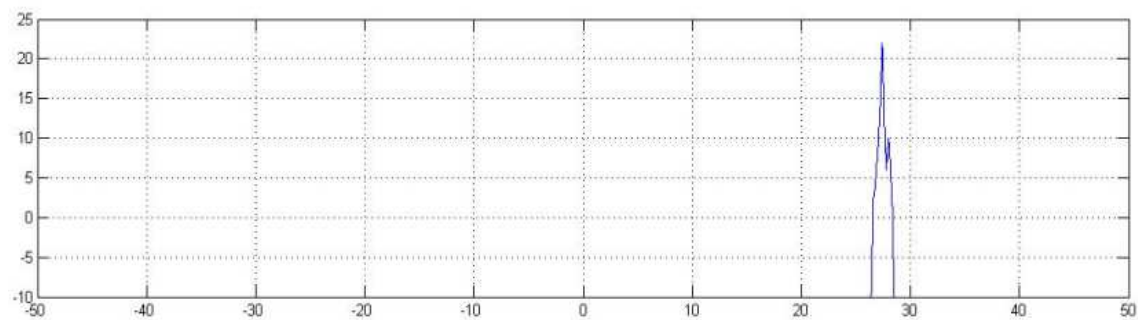


图4-30 信号仿真频谱

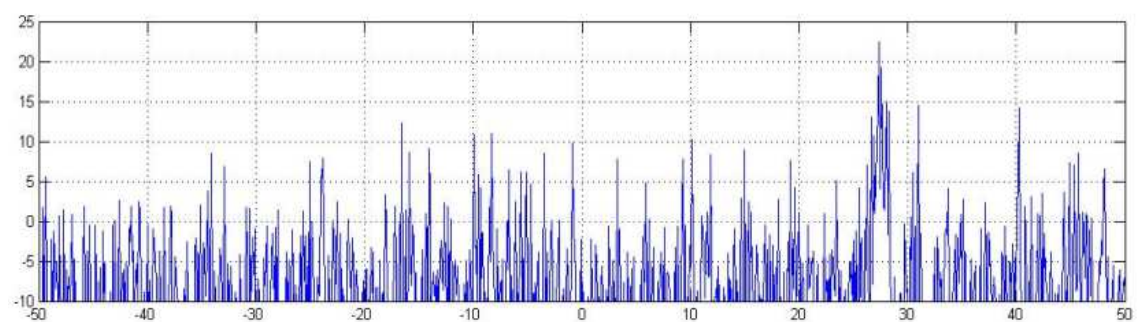


图4-31 经信道传输的信号频谱

## 结 论

毕业设计是对大学期间所学知识的综合运用,做毕业设计的过程是自我能力提升的一个过程,包括发现问题、解决问题等各方面能力的一个提升。

本次毕业设计通过对蓝牙跳频通信系统的仿真进一步深刻理解通信系统仿真的整个过程及所设计的通信系统仿真工具的使用。首先介绍了通信系统仿真的基本内容,包括通信系统的组成及仿真的一般步骤、MATLAB 中的一种可视化仿真工具 Simulink 的相关概念。通过 2ASK、2FSK 等典型通信系统仿真模块熟悉基本理论,详细介绍了 Simulink 的启动、常用模块库、仿真模型的建立及仿真过程等。从理论上对通信系统进行深入细致的研究是非常必要的。理论知识是用来指导具体实践的。在深刻理解通信系统理论的基础上,利用 MATLAB 强大的仿真功能,对蓝牙跳频通信系统进行仿真,利用 Simulink 对蓝牙通信系统进行各模块设计,各模块组合一起构成一个系统,然后进行仿真,得到仿真结果后对其进行分析。在这个过程中我对 MATLAB/Simulink 模块有了新的认识,在整个毕业设计中,我能够自己调试模块,通过看相关书籍和参考书,熟练使用各种软硬件设备。期间虽然出现过很多问题,但我总能够耐心研究寻找解决方法,或查阅资料,或请教指导老师,从而养成了独立思考、自主学习的好习惯。

## 致 谢

## 参考文献

- [1]邵佳, 董辰辉.MATLAB/Simulink 通信系统建模与仿真实例精讲.电子工业出版社,2009.6
- [2]张会生, 陈树新.现代通信系统原理.高等教育出版社.2004.7
- [3]邵玉斌.MATLAB/Simulink 通信系统建模与仿真实例分析.清华大学出版社 2008.6
- [4]周昌雄.信号与系统.西安电子科技大学出版社.2008.5
- [5]张重阳.数字移动通信技术.西安电子科技大学出版社.2006.4
- [6]邓华.MATLAB 通信仿真及应用实例详解.人民邮电出版社.2003.9
- [7]郭文彬, 桑林.通信原理基于 Matlab 的计算机仿真.北京邮电大学出版社.2006.6
- [8]李仲令,曹世文,葛造坤.现代通信系统仿真及应用.成都科技大学出版社.1998.3
- [9]张德丰.MATLAB/Simulink 建模与仿真实例精讲.机械工业出版社.2010.1