

Simulink

数字通信系统建模

Modeling of Digital Communication Systems
Using SIMULINK®

理解5G通信技术本质，决胜5G时代
MathWorks公司官方鼎力支持
提供完整配套模型文档、习题集、答案



[美] 阿瑟·A. 乔达诺 (Arthur A. Giordano) 著
艾伦·H. 莱维斯克 (Allen H. Levesque) 著
邵玉斌 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



Simulink

数字通信系统建模

Modeling of Digital Communication Systems
Using SIMULINK®

[美] 阿瑟·A. 乔达诺 (Arthur A. Giordano) 著
艾伦·H. 莱维斯克 (Allen H. Levesque) 著
邵玉斌 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

MATLAB/Simulink 已经成为业界进行数值计算和建模仿真的事实标准和通用学术交流平台。在通信领域,越来越多的工程师和学者在利用 MATLAB/Simulink 进行新技术研究、通信协议模拟、算法开发和实验验证,通过建模和仿真实验来对未来通信体制和系统进行思想探索、数学分析和数值模拟。

本书讨论了将 Simulink 用于数字通信技术领域的建模方法,如调制技术、编码技术、信道类型以及接收机处理技术等。通过一系列工程实例,深入讨论了在新型无线通信系统中应用的关键技术和系统建模技巧。

本书适合通信工程、电子与信息工程、计算机等专业的高年级本科生和研究生阅读,也可从事通信新技术研究、协议开发和产品开发的系统工程师等从业者、研究者提供重要参考。

Copyright © 2015 by John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Modeling of Digital Communication Systems Using SIMULINK®, ISBN: 978 - 1 - 118 - 40005 - 0, by Arthur A. Giordano, Allen H. Levesque, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社独家出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有,翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2015-5588 号。

图书在版编目(CIP)数据

Simulink 数字通信系统建模/(美)阿瑟·A. 乔达诺 (Arthur A. Giordano)等著;邵玉斌译. —北京:机械工业出版社,2018. 11
(5G 丛书)

书名原文:Modeling of Digital Communication Systems Using SIMULINK
ISBN 978-7-111-61261-2

I. ①S… II. ①阿…②邵… III. ①算法语言-应用-数字通信系统-系统建模 IV. ①TN914. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 245668 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林 桢 责任编辑:闫洪庆

责任校对:刘志文 封面设计:鞠 杨

责任印制:孙 炜

保定市市中画美凯印刷有限公司印刷

2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 240mm · 17.75 印张 · 441 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61261-2

定价:79.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

原 书 前 言

本书旨在向通信系统工程师介绍 MathWorks 公司出品的 Simulink[®]建模工具，并讲解如何使用 Simulink 对数字通信系统进行计算机建模与评估。Simulink 是一种基于框图模型和 MATLAB 优化代码的建模工具，使用 Simulink 可以快速地构建通信系统模型并进行仿真。由于 Simulink 使用基于框图的模型构造方法，用户无需编写新的程序代码就能进行系统建模工作，非常方便。Simulink 模型库提供了大量模型模块，并且这些模块经过了 MathWorks 公司的验证，通过这些模块用户可以组合成任意定义的模型。在熟练掌握 Simulink 使用方法之后，它将成为工程师手中一个强大而可靠的工程设计工具。例如，在非线性系统分析和时变系统分析等这些特定情况下，我们往往无法得出解析结果，这时 Simulink 将成为通信系统性能评估中一个强有力的工具。

本书内容

本书将向读者介绍 Simulink 这一被广泛使用的 MATLAB[®]扩展建模工具，并介绍如何利用 Simulink 来进行数字通信系统的建模和仿真。与其他一些深入讲解 MATLAB 部分而对 Simulink 部分仅做简单介绍的书籍不同，本书力图使通信工程师能够学会使用 Simulink 平台，并通过使用 Simulink 的扩展功能来建立多种多样的数字通信系统，从而能够在许多重要的信道场景下，对数字通信系统的性能做出数值评估。

本书读者需要具备 MATLAB 语言和平台应用的基本知识，并具备数字通信领域的专业基础，如具有调制、编码、信道模型等方面的基本概念，以及数字信号处理（DSP）的专业基础，如数字滤波、傅里叶变换、通信统计学方面的基本知识。本书不打算替代数字通信理论教材，但是，把本书作为该类专业课程的伴随读物则是很有价值的。本书也不是一本关于如何使用 Simulink 的详细说明书，而是力图让读者和用户在熟悉 Simulink 基本工具之后，能够快速构建出有意义的通信系统模型。关于 Simulink 的若干教程和使用说明可从 MathWorks 公司获得。

本书也未涉及 Simulink 另一功能，即为现场可编程门阵列（FPGA）或数字信号处理（DSP）器件提供模型开发、C/C++ 编码和模型移植的支持等方面内容。如果读者需要学习这些功能和内容，可从 MathWorks 公司提供的应用培训中获取。

① MathWorks 公司诞生于 1984 年，总部在美国马萨诸塞州的内蒂克，是一家从事科学和工程数学计算的软件开发公司。Simulink 是一个可应用于多个领域的基于模型和框图的建模仿真平台，能支持仿真、自动代码生成、连续性测试以及对嵌入式系统的算法验证。——原书注

② MATLAB 是一个应用于数值计算领域的高级计算语言、交互编程工具和可视化应用环境。MATLAB 的计算通常是基于矢量或矩阵表达来进行的。——原书注

本书结构

本书分为两大部分。前 12 章讨论了 Simulink 用于数字通信领域技术的建模方法，如调制技术、编码技术、信道类型以及接收机处理技术等；讨论内容包含了通信系统在给定条件下的理论结果，以及在仿真条件下的仿真数值结果。每章最后设有习题，以期巩固重点讲解的内容。第 13 章给读者提供了许多通信系统模型实例，涉及数字通信许多重要技术。我们希望，通过这些实例能够为读者展示出 Simulink 这一建模工具强大的工程应用能力。附录 A 总结了本书所涉及的 Simulink 主要模块。附录 B 向读者提供了关于 MATLAB 和 Simulink 的一些更为深入的文献。

第 1 章

本章讲解了 Simulink 建模的基本知识，以及 Simulink 与 MATLAB 之间的关系，展示了典型的 MATLAB 应用窗口[⊖]，介绍了 Simulink 模块库，其中特别讨论了通信工具箱和 DSP 系统工具箱。

第 2 章

本章力图引导读者从最简单的建模做起，学会如何利用 Simulink 来建立本书第一个最简单的正弦波模型。在完成模型创建并设定模型参数之后，执行仿真，仿真结果将被送入 MATLAB 工作空间。我们在模型中使用了数据显示模块和示波器模块来显示仿真输出数据和波形，并通过快速傅里叶变换（FFT）模块来计算输出信号频谱，并与正弦波频谱的解析结果进行比较。在模型中还使用了另一个具有更多参数设置的频谱分析仪模块来测定信号的频谱。此外，我们在模型中还使用了一些常见的数学计算模块。

第 3 章

本章针对二进制相移键控（BPSK）调制和正交相移键控（QPSK）调制，讨论了在 Simulink 中的一些关键建模问题。在实例模型中，我们使用了 BPSK 和 QPSK 模块，并通过在信道模块中引入加性白高斯噪声（AWGN），把高斯噪声作为加性信道噪声。通过仿真，得出了 BPSK 和 QPSK 的比特错误率（BER）性能，并与其理论比特错误率分析结果进行了比较。在比特能量信号噪声比（ E_b/N_0 ）仿真范围内，利用比特错误率统计工具模块可以很方便地测量出系统的比特错误率性能。另外，本章还讨论了基于数据采样和基于数据帧的两种不同计算方法，并指出基于数据帧的方法由于采用了向量计算模式，将比基于数据采样的方法具有更快的计算速度。最后，本章讨论了在 Simulink 中定点计算的用法。

第 4 章

本章继续前一章的话题，讨论在 M 元相移键控（MPSK）调制和正交幅度调制（QAM）等相干调制方法下，如何构建对通信系统 BER 性能的仿真评估模型。其中采用了多种符号集合大小，并使用了浮点和定点两种算法。同样，利用 Simulink 构建了多种符号集合大小的 QAM 调制

⊖ 对 MATLAB 窗口的复制得到了 MathWorks 公司的授权许可。——原书注

目 录

译者序

原书前言

缩略语

第 1 章 开始使用 Simulink 1

- 1.1 简介 1
- 1.2 启动 MATLAB 2
- 1.3 Simulink 模块库 3
- 1.4 新建 Simulink 模型 5
 - 1.4.1 添加信号源和示波器 6
 - 1.4.2 设置信号源模块参数 7
 - 1.4.3 设置示波器模块参数 9
- 1.5 运行 Simulink 模型 10
- 1.6 重新配置信号模块参数 12
- 1.7 基于采样的信号 14
- 1.8 把数据送入工作空间 16
- 1.9 使用模型资源管理器 17
- 1.10 为波形添加标签 18
- 1.11 仿真参数配置 20
- 1.12 小结 22
- 习题 22

第 2 章 正弦波 Simulink 模型 24

- 2.1 建立第一个新模型 24
- 2.2 改进正弦波 Simulink 模型 24
- 2.3 正弦波频谱测量 32
- 2.4 小结 35
- 习题 35

第 3 章 AWGN 信道中数字通信系统的 BER 性能 (BPSK 和 QPSK) ... 37

- 3.1 AWGN 信道中 BPSK 和 QPSK 调制的错误率性能 37
- 3.2 通过简单几步构建出一个 Simulink 模型 37
- 3.3 BER 仿真结果和理论计算结果的

对比 46

- 3.4 另一个 BPSK 调制的 Simulink 模型 48
- 3.5 基于帧的 Simulink 模型 51
- 3.6 QPSK 调制的符号错误率性能 55
- 3.7 BPSK 调制的定点仿真性能 57
- 3.8 AWGN 信道中 BPSK 调制的理论 BER 性能 59
- 3.9 小结 60
- 习题 60

第 4 章 AWGN 信道中数字通信系统的 BER 性能 (MPSK 和 QAM) 63

- 4.1 AWGN 信道中 MPSK 和 QAM 的错误率性能 63
- 4.2 MPSK 调制的 Simulink 模型 63
- 4.3 MPSK 调制在其他调制符号数下的 BER 性能 66
- 4.4 定点数模式下 MPSK 调制的 BER 67
- 4.5 QAM 的 Simulink 模型 68
- 4.6 平均功率条件下其他元数下 QAM 的 BER 71
- 4.7 峰值功率条件下 QAM 的 BER 71
- 4.8 功率放大器限制条件下对 QAM 峰值功率的选择 72
- 4.9 小结 76
- 习题 77

第 5 章 AWGN 信道中数字通信系统的 BER 性能 (FSK 和 MSK) 78

- 5.1 AWGN 信道中 FSK 和 MSK 调制的错误率性能 78
- 5.2 BFSK 调制的 Simulink 模型 78

5.3	MFSK 调制的 Simulink 模型	83	分组码	118
5.4	MSK 调制的 Simulink 模型	86	8.2	瑞利衰落信道中使用空时分组码的 BPSK 调制的 BER
5.5	MSK 调制的功率谱	89	8.3	瑞利衰落信道中使用空时分组码的 QAM 的 BER
5.6	小结	90	8.4	用于 BPSK 调制的空时分组码
习题		91	8.5	用于 16QAM 的空时分组码
第 6 章	AWGN 衰落信道中数字通信 系统的 BER 性能 (BPSK)	92	8.6	小结
6.1	瑞利衰落和莱斯衰落信道中的 BPSK 调制	92	习题	
6.2	瑞利衰落信道中 BPSK 调制的 BER 性能	92	第 9 章	AWGN 信道中数字通信系统的 BER 性能 (分组码)
6.3	莱斯衰落信道中 BPSK 调制的 BER 性能	96	9.1	AWGN 信道中分组码数字通信系统
6.4	多径莱斯衰落信道中 BPSK 调制的 BER 性能	100	9.2	AWGN 信道中带二进制 BCH 分组码 BPSK 调制的 BER 性能
6.5	瑞利衰落信道下 BPSK 调制的 BER 理论性能	105	9.3	AWGN 信道中带 Hamming 码 BPSK 调制的 BER 性能
6.6	莱斯衰落信道下 BPSK 调制的 BER 理论性能	106	9.4	AWGN 信道中带 Golay (24, 12) 分组码 BPSK 调制的 BER 性能
6.7	小结	106	9.5	AWGN 信道中带 RS 码 FSK 调制的 BER 性能
习题		107	9.6	AWGN 信道中带 RS 码 QAM 的 BER 性能
第 7 章	AWGN 衰落信道中数字通信 系统的 BER 性能 (FSK)	108	9.7	小结
7.1	瑞利衰落和莱斯衰落信道中的 FSK 调制	108	习题	
7.2	瑞利衰落信道中 BFSK 调制的 BER 性能	108	第 10 章	AWGN 信道中数字通信系统的 BER 性能 (分组码及衰落 信道)
7.3	瑞利衰落信道中 MFSK 调制的 BER 性能	110	10.1	衰落信道中分组码数字通信系统
7.4	莱斯衰落信道中 BFSK 调制的 BER 性能	112	10.2	瑞利衰落信道中带交织 BCH 分组码 BPSK 调制的 BER 性能
7.5	多径莱斯衰落信道中 BFSK 调制的 BER 性能	113	10.3	瑞利衰落信道中带交织 Golay (24, 12) 分组码 BFSK 调制的 BER 性能
7.6	瑞利衰落和莱斯衰落信道中 FSK 调制的 理论 BER 性能	115	10.4	瑞利衰落信道中带交织 RS (31, 15) 分 组码 32FSK 调制的 BER 性能
7.7	小结	116	10.5	瑞利衰落信道中带交织 RS (15, 7) 分组码 16QAM 的 BER 性能
习题		116	10.6	瑞利和莱斯衰落信道中带交织 RS (15, 7) 分组码 16QAM 的 BER 性能
第 8 章	数字通信系统的 BER 性能	118	10.7	瑞利衰落信道中带交织 BCH 分组码及
8.1	瑞利衰落信道中数字调制使用空时			

采用 Alamouti STBC 技术 BPSK 调制的 BER 性能	156	BPSK 调制的 BER 性能	195
10.8 瑞利衰落信道中带交织 Golay (24, 12) 分组码及采用 Alamouti STBC 技术 BPSK 调制的 BER 性能	158	12.6 瑞利衰落多径信道中使用 RLS 均衡器的 BPSK 调制的 BER 性能	198
10.9 瑞利衰落信道中带交织 RS (31, 15) 分组码及采用 Alamouti STBC 技术 32FSK 调制的 BER 性能	160	12.6.1 RLS 均衡器	198
10.10 瑞利衰落信道中带交织 RS (15, 7) 分组码及采用 Alamouti STBC 技术 16QAM 的 BER 性能	162	12.6.2 无多径时瑞利衰落信道中的 RLS 均衡器	199
10.11 小结	163	12.6.3 瑞利衰落多径信道中的 RLS 均衡	202
习题	163	12.7 小结	204
第 11 章 AWGN 和衰落信道中数字通信 系统的 BER 性能 (卷积码) ...	165	习题	204
11.1 AWGN 和衰落信道中卷积码数字通信 系统	165	第 13 章 Simulink 实例	206
11.2 AWGN 信道中卷积码及 BPSK 调制的 BER 性能	165	13.1 语音压缩技术中线性预测编码 (LPC)	206
11.2.1 硬判决解码	165	13.1.1 语音声腔模型	208
11.2.2 软判决解码	168	13.1.2 计算预测系数	208
11.3 AWGN 信道和瑞利衰落信道中带交织 卷积码及 BPSK 调制的 BER 性能 (软判决 译码和硬判决译码)	172	13.1.3 语音分析和合成	208
11.4 瑞利衰落信道中带交织和采用 Alamouti STBC 的卷积码及 BPSK 调制的 BER 性能	176	13.2 RLS 干扰抑制	211
11.5 小结	178	13.2.1 对正弦干扰的抑制	211
习题	179	13.2.2 对低通高斯噪声的抑制	214
第 12 章 数字通信中的自适应均衡	180	13.3 扩频技术	217
12.1 自适应均衡	180	13.3.1 没有带内干扰的扩频 Simulink 模型	217
12.2 弥散多径信道中使用线性 LMS 均衡器的 BPSK 调制的 BER 性能	180	13.3.2 带内干扰下的扩频 Simulink 模型	219
12.3 弥散多径信道中使用 Simulink 自带库线性 LMS 均衡器的 BPSK 调制的 BER 性能 ...	187	13.3.3 抑制带内干扰的扩频 Simulink 模型	224
12.4 有码间串扰 (ISI) 信道中使用线性 LMS 均衡器的 QPSK 调制的 BER 性能	190	13.4 天线迫零	226
12.5 弥散多径信道中使用判决反馈均衡器的		13.5 卡尔曼滤波	231
		13.5.1 标量卡尔曼滤波器	233
		13.5.2 卡尔曼均衡器	235
		13.5.3 使用扩展卡尔曼滤波器 (EKF) 的 雷达跟踪	245
		13.6 正交频分复用	248
		13.7 BPSK 调制下的 Turbo 码	258
		附录	264
		附录 A 本书涉及的 Simulink 模块	264
		附录 B 可进一步阅读的资料	267

第 1 章 开始使用 Simulink

1.1 简介

本章首先创建一个正弦波信号仿真模型，并以这个简单例子来说明用 Simulink 建模的基本方法和步骤。我们使用 MATLAB 2014a 版本^①作为建模和仿真运行平台，其中安装了 Simulink 仿真工具，并使用了 Simulink 基本模块库。在后续章节中，我们将讲解如何使用 Simulink 模块库中的各种模块，如通信系统工具箱和 DSP（数字信号处理）工具箱中的各种专业模块。通信系统工具箱提供了一系列 MATLAB 计算函数和通信仿真模块，能够应用到数字通信系统仿真的各个方面。虽然 MATLAB 和 Simulink 软件可以在多种操作系统下运行，但本书所有实例和讨论都将基于 Windows 操作系统来进行。

MathWorks 公司为 MATLAB 和 Simulink 撰写了大量技术文档，详情可参见 MathWorks 公司官方网站：<http://www.mathworks.com/help/>。MathWorks 公司对 MATLAB 和 Simulink 产品的官方介绍如下：

MATLAB

MATLAB 是一种应用于数值计算领域的高级计算语言，同时也是一个交互编程工具和可视化应用环境。利用 MATLAB 能够进行数据分析、算法开发以及系统建模应用，与使用演算纸或其他传统程序设计语言（如 C/C++ 或 Java 语言）相比，MATLAB 语言平台和内建数学函数使得用户能够更快速、更高效地进行各种科学研究活动。MATLAB 是“矩阵实验室”的英文简称。其他程序设计语言一般都以单个数字作为基本运算对象，而 MATLAB 则被设计为以矩阵或矢量作为主要运算对象的科学计算平台。

Simulink

Simulink 是基于框图模型的建模仿真平台，可以应用在众多工程领域中，能够支持系统级设计、仿真、自动代码生成以及连续测试与嵌入式系统验证等方面。Simulink 提供了图形化建模编辑环境，可以自定义模块库，还可以为动态系统仿真模型选择不同的求解算法。Simulink 集成在 MATLAB 平台中，因此，可以方便地将 MATLAB 中的各种算法函数引入到 Simulink 模型中，也可以将 Simulink 模型的仿真结果输出到 MATLAB 中，以便进一步使用 MATLAB 计算程序去进行数据分析。

使用 Simulink 逐渐熟练之后，用户将发现自己能够以多种方式构建 Simulink 模型，至于选择何种方法建模，则取决于用户自己的喜好。但无论使用哪种建模方法，所得到的仿真计算结果都

① 本书中给出的每个模型均在 MATLAB 2014a 版本中成功运行。其中一些实例模型在执行时可能会出现“该模型是在早期版本中创建的”提示信息。——原书注

将是一致的。

本章涉及内容如下：

- 启动 MATLAB
- 打开并查看 Simulink 模块库
- 新建 Simulink 模型
 - 设置仿真参数
 - 设置并使用示波器模块 (Scope)
- 执行仿真模型
- 向 MATLAB 工作空间 (Workspace) 发送数据
- 使用模型资源管理器
- 配置模型参数

1.2 启动 MATLAB

在 Windows 系统中，只需在 Windows 桌面上找到 MATLAB 快捷图标，鼠标双击即可启动 MATLAB 软件。启动后初始界面如图 1.1 所示，软件的默认工作主界面包括 4 个面板，并可以通过主页“HOME”工具条上的菜单项“Layout (布局)”图标下拉项来修改工作主界面外观。在工作主界面上，左边部分面板显示当前文件夹、当前文件夹中所包含的 MATLAB 程序或 Simulink 模型，以及在当前文件夹中其他用户自定义的图形文件、用户数据文件等。主界面中间部分是一个命令窗口，我们可以在命令窗口中输入 MATLAB 命令，可以为模型参数赋值，也可以输入 MATLAB



图 1.1 MATLAB 的默认主界面视图。MathWorks 公司授权许可复制^①

① 本书中所有 Simulink 参数窗口的截图都得到了 MathWorks 公司的授权许可。——原书注

函数来完成各种数学计算。在主界面右上方，是工作空间面板（称为 Workspace），我们在命令窗中所定义的变量将会在这个工作空间面板上显示出来。在主界面右下方有个命令历史面板，其中可以看到以前曾经输入过的命令语句，用户还可以重新执行这些命令语句。图 1.1 中，在命令窗口上方有一个长方条框，其中指示了当前默认的工作路径，本书标记为“► C: ► Users ► Default User”。我们可以将默认工作路径改变到其他文件夹位置。在这个长方条框最右边，有一个下三角符号“▼”，用鼠标单击这个“▼”符号也可以将默认路径切换到历史路径位置上。

1.3 Simulink 模块库

创建 Simulink 模型的过程是, 首先从 Simulink 模块库中选择各种模块, 然后将这些模块连接起来, 形成系统框图, 完成后启动仿真计算。

从 MATLAB 主界面上的工具条单击 Simulink 模块库图标, 可查看库中的所有模块。Simulink 模块库窗口如图 1.2 所示, 在 Simulink 模块库浏览器窗口中分类显示出了全部 Simulink 模块。由于本书中心任务是研究数字通信系统的建模问题, 因此, 对于我们来说最有用的模块主要就是如下三类: ① Simulink 基本库模块; ② 通信系统工具箱模块; ③ DSP 系统工具箱模块。

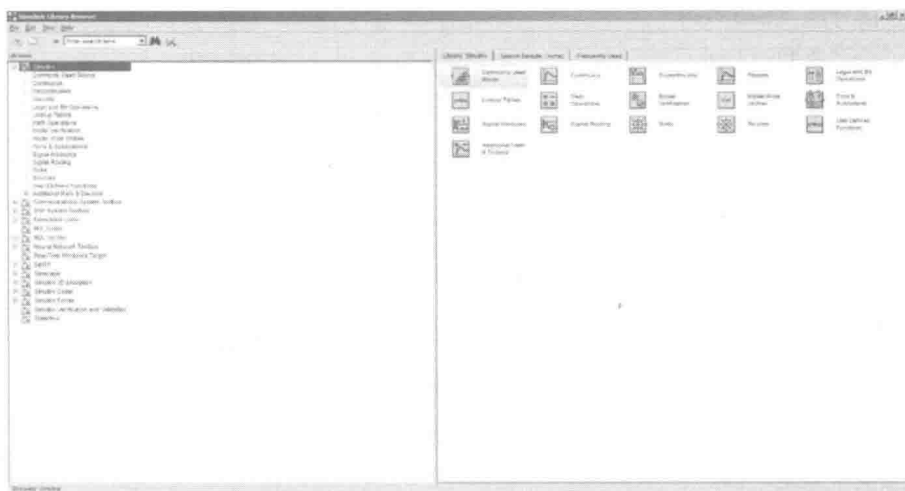


图 1.2 Simulink 模块库

现将本书中所用到的 Simulink 库模块罗列如下。

Simulink 基本库

● 常用模块(Commonly used blocks)

- 常数模块 (Constant)
- 延迟模块 (Delay)
- 输入和输出模块 (In1&Out1)
- 示波器模块 (Scope)
- 数学运算模块 (Math operations)

- 取模模块 (Abs)
- 求和模块 (Sum)
- 求乘积模块 (Product)
- 复数求取实部虚部模块 (Complex to Real - Imag)
- 数学函数模块 (Math Function)
- 模型扩充应用模块集 (Model Wide Utilities)
 - 模型信息 (Model Info)
- 信号路由模块 (Signal Routing)
 - 来自 (From)
 - 去向 (Goto)
 - 多路合路模块 (Mux)
- 信宿 (Sinks)
 - 显示面板 (Display)
 - 示波器 (Scope)
 - 数据送至工作空间 (To Workspace)
- 信号源 (Sources)
 - 常数 (Constant)
 - 数据来自于工作空间 (From Workspace)
 - 随机数模块 (Random number)
 - 正弦波模块 (Sine Wave)
- 用户自定义函数 (User - Defined Functions)
 - Matlab 函数 (Matlab Function)
- 通信系统工具箱
 - 信道模块 (Channels)
 - 加性白高斯噪声信道 (AWGN)
 - 多径瑞利衰落信道 (Multipath Rayleigh Fading)
 - 通信信号源 (Comm Sources)
 - 噪声发生器 (Noise Generators)
 - 高斯噪声发生器 (Gaussian Noise Generator)
 - 随机数信号源 (Random Data Sources)
 - 伯努利二进制发生器 (Bernoulli Binary Generator)
 - 随机整数发生器 (Random Integer Generator)
 - 错误检测和纠错 (Error Detection&Correction)
 - 分组码 (Block)
 - 卷积码 (Convolutional)
 - 调制 (Modulation)
 - 数字基带调制 (Digital Baseband Modulation)

AM (QAM)

PM (BPSK、QPSK、M-PSK)

FM (M-FSK)

● DSP 系统工具箱

○ 滤波 (Filtering)

— 自适应滤波器 (Adaptive Filters)

分组 LMS 滤波器 (Block LMS Filter)

卡尔曼滤波器 (Kalman Filter)

RLS 滤波器 (RLS Filter)

○ 信号管理 (Signal Management)

— 缓存器 (Buffers)

— 信宿 (Sinks)

频谱分析模块 (Spectrum Analyzer)

时域示波器 (Time Scope)

矢量示波器 (Vector Scope)

— DSP 正弦波信源 (DSP Sine Wave)

— 统计 (Statistics)

平均 (Mean)

方差 (Variance)

自相关 (Autocorrelation)

相关 (Correlation)

— 信号变换 (Transforms)

FFT

IFFT

在附录 A 中给出了本书所涉及的 Simulink 主要模块列表。

1.4 新建 Simulink 模型

创建 Simulink 模型, 请首先在 MATLAB 主界面的主页 (HOME) 选项卡下方, 找到 MATLAB 工具条, 通过下拉工具条上的“新建 (New)”按钮, 选择“新建 | Simulink 模型 (New | Simulink Model)”后, 将打开一个空白的 Simulink 用户模型窗口, 如图 1.3 所示。请注意, 用户模型窗口上部标题栏上显示出该模型为“未命名 (untitled)”的。模型窗口中, 用户可以选择模型仿真时间长度, 图中显示的仿真时间长度设置为 10.0s。本章中的模型的仿真时间长度都设置为固定值 10.0s。如果要修改模型名称, 可在工具条上选择“文件 (File)”菜单或单击通过“文件: 另存为 (File: save as)”菜单项, 然后在弹出的对话框中填写模型名称, 如“First_Simulink_Model”, 然后单击“保存 (Save)”即可。名称更改后的模型窗口如图 1.4 所示。

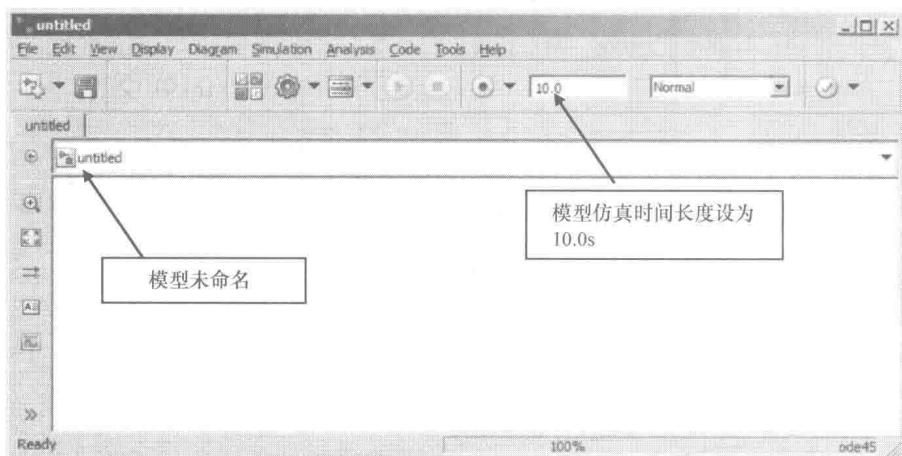


图 1.3 Simulink 用户模型（空白）窗口

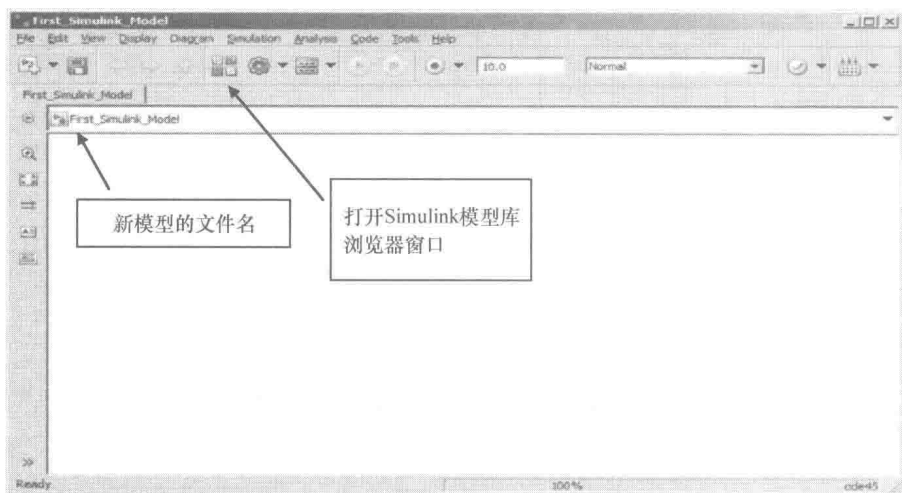


图 1.4 改名为“First_Simulink_Model”之后的 Simulink 用户模型窗口

1.4.1 添加信号源和示波器

我们可以从 Simulink 模块库浏览器中选择模块来构建新模型，也可以从现有模型中复制所需模块来构建新模型。在此，我们把所需模块从 Simulink 模块库中复制出来，具体操作过程是，如图 1.4 所示，首先单击位于主界面工具条上的“Simulink 库”图标（即有四个小彩色方框符号的那个图标），打开 Simulink 模块库浏览器窗口；之后，先在 Simulink 库浏览窗口（见图 1.2）中，单击信号源模块库（Sources），打开如图 1.5 所示的窗口。这时，用户模型窗口“First_Simulink_Model”和 Simulink 模块库浏览器窗口均显示在桌面上。我们可在正弦波模块图标（Sine Wave）上按住鼠标，并把该图标拖动到用户模型窗口中，这样就把正弦波模块复制到用户模型窗口中

了。我们也可以这样做：在 Simulink 模块库中相应图标位置单击鼠标右键，然后选择快捷弹出菜单中的“添加（Add）”选项，也能将图标所示模块添加到“First_Simulink_Model”用户模型文件中来。

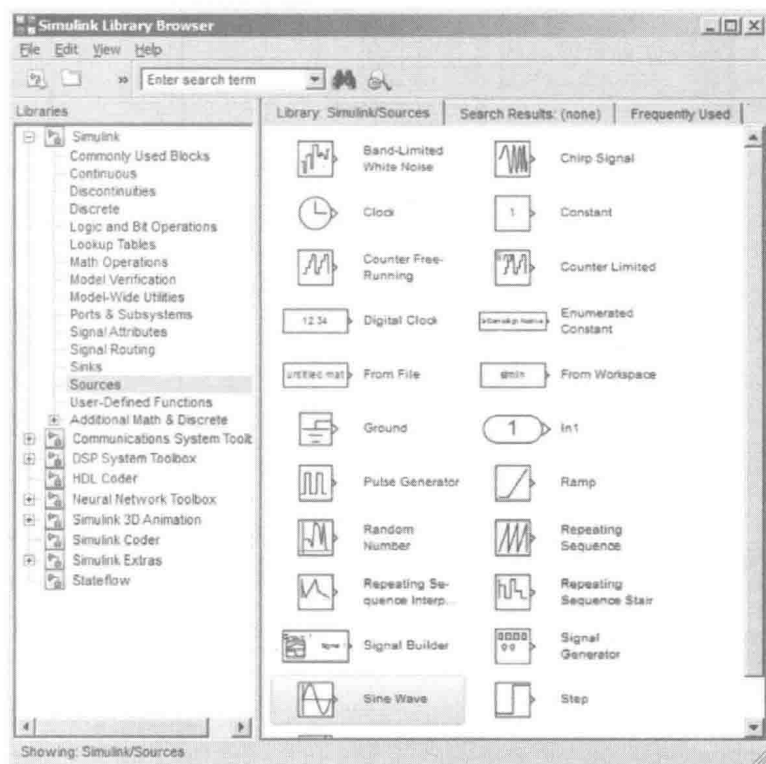


图 1.5 选中了“Sine Wave”模块后的 Simulink 模块库浏览器

接下来，要向用户模型窗口中添加一个示波器模块，可以这样做：回到 Simulink 模型库浏览器窗口，在信宿（Sinks）模块集合中选择示波器模块（Scope），并把示波器模块拖拽到用户模型窗口，如图 1.6 所示。为了把正弦波模块与示波器模块连接起来，需要这样操作：把鼠标指针放在正弦波模块输出箭头位置处，单击并拖动鼠标，这时将会看到一条连线，继续拖动鼠标到示波器输入箭头所指的位置后，放开鼠标左键，于是就把正弦波模块与示波器模块连接在一起了。

在用户模型中，我们还加上了一个名为“模型信息（Model Info）”的模块，它取自于 Simulink 模块库中的“Simulink 模型扩充应用模块集（Simulink Model - Wide Utilities）”。如图 1.6 所示，把“模型信息（Model Info）”模块拖拽到用户模型窗口“First_Simulink_Model”中，并双击该模块，就可以打开编辑文本框。“模型信息（Model Info）”模块通常用来显示仿真模型的一些参数配置信息，并方便用户输入一些注释文字等。

1.4.2 设置信号源模块参数

在用户模型窗口中，双击正弦波模块图标，就可以打开其参数设置对话框窗口，如图 1.7 所

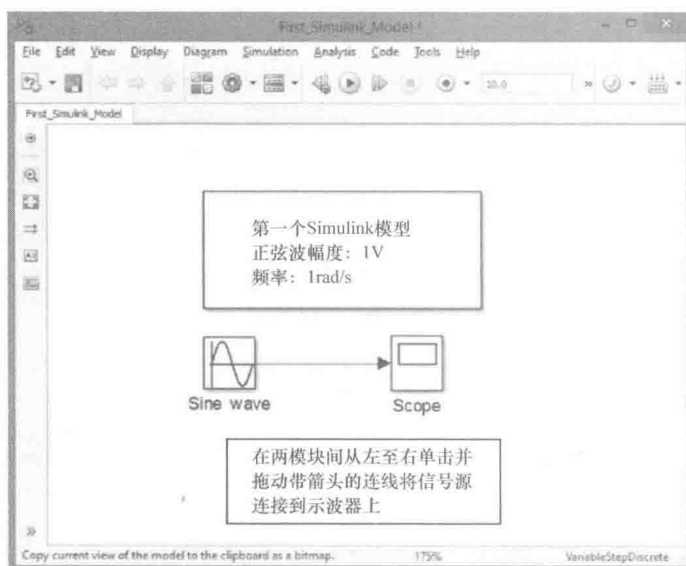


图 1.6 添加了正弦波信号源模块、示波器模块以及模型信息模块后的用户模型窗口

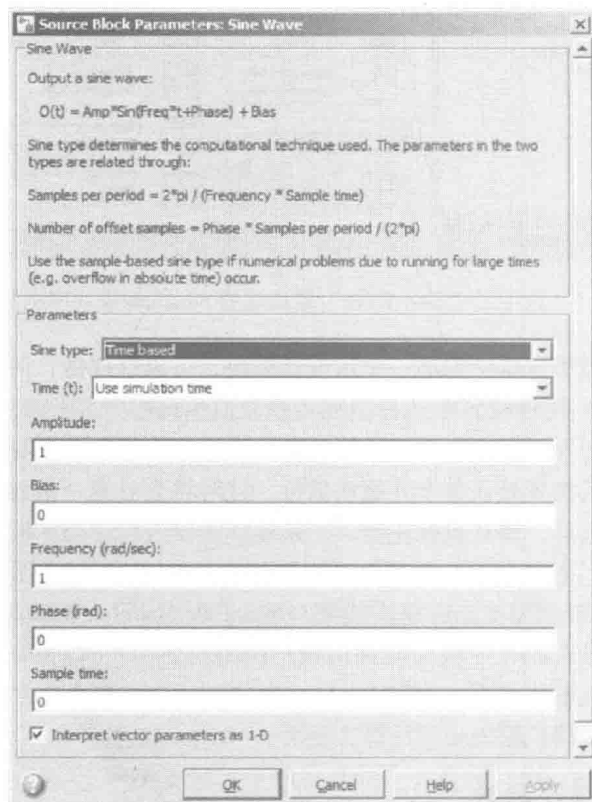


图 1.7 正弦波信号源模块的参数配置对话框

示。我们把其中振幅参数项 (Amplitude) 和直流偏置参数项 (Bias) 分别设置为 1 和 0, 并选定正弦波 (Sine) 计算形式为“基于时间的 (Time based)”, 然后将时间计算模式“时间 (Time (t))”选定为“使用仿真时间 (Use simulation time)”选项。这种选择适合于大多数仿真情况。此外, 在用户模型窗口中先选中该模块, 然后单击鼠标右键, 弹出快捷菜单列表, 从中选择“模块参数 (Sin)”, 也可以打开这个正弦波信号源模块的参数设置对话框。同样, 用户还可以通过下拉菜单选项来对选定模块进行属性修改或样式设置, 在构建 Simulink 模型框图过程中, 下拉菜单是很有用的。

除了在参数配置对话框中输入参数值以外, 我们通常还可以利用参数选项来配置模块参数。例如, 在模块配置时, 可以在“正弦波仿真类型 (Sine type)”选择项中, 选择“基于时间的 (Time-based)”或是“基于采样的 (Sample-based)”这两种计算模式之一; 而在“时间 (Time (t))”选项下, 可以选择“使用仿真时间 (Use simulation time)”或者“使用外部信号 (Use external signal)”这两种时间驱动方式之一。为便于叙述, 我们在此暂不去涉及这些配置参数选项的具体含义。但用户可以通过单击“帮助 (Help)”按钮来获得 Simulink 帮助文档, 从而更加详细地了解这些参数配置选项的意义。

1.4.3 设置示波器模块参数

在用户模型窗口中, 现在我们选择示波器模块图标, 并双击鼠标左键打开示波器模块显示面板窗口, 如图 1.8 所示。此时, 示波器显示面板窗口是空的, 因为我们还没有启动模型执行仿真。在示波器显示面板窗口的工具条上, 可以看到一个齿轮形状的小图标, 单击它就可以打开示波器模块参数配置对话框, 如图 1.9 所示, 其中有三个选项卡页面。在“一般 (General)”选项卡页面下, 可以设置示波器显示面板窗中显示波形踪数、显示仿真时间区间, 以及示波器刻度标记方式。由于示波器模块能够设置为多踪信号显示模式, 所以在多个测量信号输入的情况下, 可以将时间刻度标记模式设置为“在全部轴上显示 (select all)”, 或者仅在窗口底部坐标轴上做刻度标记, 也可以设置为不显示任何时间刻度标记。在示波器模块参数配置对话框窗口的“历史 (History)”选项卡页面下, 可以指定仿真输出数据的存储量, 如图 1.10 所示, 仿真输出数据的存储量也就是在示波器面板上显示的存储数据点数。另外, 还可以选择是否把数据送入 MATLAB 的“工作空间 (workspace)”中存储。在示波器模块参数设置对话框窗口中的“风格 (Style)”选项卡页面下, 可以选择各种作图风格, 如波形颜色 (colors)、作图线型 (line styles), 以及作图标记符号 (markers) 等, 如图 1.11 所示。

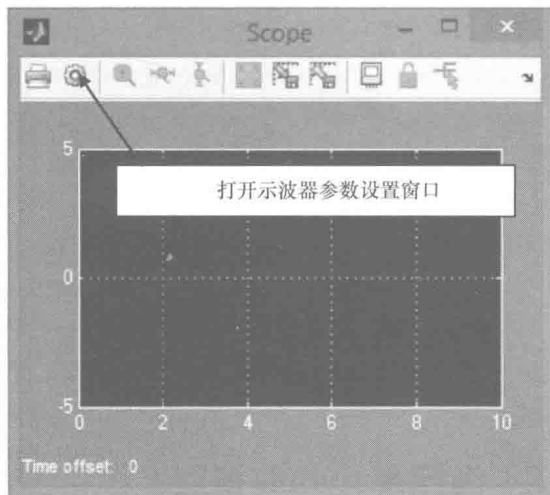


图 1.8 示波器模块显示面板窗口