

通 信 技 术 与 MATLAB 应 用 系 列 丛 书

● 丛书主编 杨育红

Simulink

通信仿真教程

主 编 李贺冰
副主编 袁杰萍 孔俊霞



国防工业出版社

National Defense Industry Press

通信技术与 MATLAB 应用系列丛书

TP391.75
33

杨育红

Simulink 通信仿真教程

主 编 李贺冰

副主编 袁杰萍 孔俊霞

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

Simulink 是 MathWorks 公司推出的基于 Matlab 平台的著名的仿真环境。Simulink 作为一种专业和功能强大且操作简单的仿真工具,目前已被越来越多的工程技术人员所青睐,它搭积木式的建模仿真方式既简单又直观,而且已经在各个领域得到了广泛的应用。

本书以基于 Matlab 6.5 的 Simulink 为平台,由浅入深地讲解 Simulink 的使用及其在通信仿真中的应用。这包括了 Simulink 的基本操作、常用模块及通信工具箱的使用、S-函数的编写、模型调试等多方面内容。特别是通信工具箱的使用以及 S-函数的编写,这些都是现有书籍中讲解不详,却很重要的内容,所以本书投入了较大的篇幅。

本书可以作为通信工程技术人员进行仿真的参考书籍,也可作为 Simulink 初学者的入门教材。本书实例虽以通信为主,但举例简单,非通信专业读者也可看懂并从中学习 Simulink 的相关知识。

图书在版编目(CIP)数据

Simulink 通信仿真教程/李贺冰主编;袁杰萍,孔俊霞副主编. —北京:国防工业出版社,2006.5
(通信技术与 MATLAB 应用系列丛书 / 杨育红主编)
ISBN 7-118-04493-8

I. S... II. ①李...②袁...③孔... III. 计算机辅助计算 - 软件包, Simulink - 应用 - 通信系统 - 系统仿真 - 教材 IV. ①TP391.75②TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 029046 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 486 千字

2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 34.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

科技在发展，人类在进步。在每一项新技术或新产品研制成功并投入使用之前都必定经过无数次的反复实验，然后根据实验结果进行修改。如何才能提高实验的效率降低实验的成本，也就成了一个很重要的问题。由此，仿真技术应运而生。仿真通过模拟真实的环境来验证设计者的思路和算法，可以大大减少实验的时间及成本。

在计算机仿真技术普及之前，传统的实物与半实物仿真受到客观条件的影响及限制，结果不够准确且破坏后难以重新利用，而在一些大型的仿真上则需要投入巨大的仿真费用。计算机技术及数字信号处理技术的出现弥补了实物及半实物仿真的不足，它可以在一台或是多台计算机上实现对一个庞大系统的模拟仿真，且不会受到客观环境及其他因素的制约，结果可信且成本低，仿真模型一旦建立可以重复使用或稍加修改后继续使用。

Simulink 作为一种专业和功能强大且操作简单的仿真工具，目前已被越来越多的工程技术人员所青睐。虽然 Simulink 看起来简单、易上手，但要想真正掌握其精华，用它来完成一个复杂系统的仿真并不容易。本书将以一个初学者的需求角度来安排内容和章节，实例尽量覆盖大部分初学者将遇到的问题，并逐步引导读者走向 Simulink 的高级应用。

全书由以下 9 章组成。

第 1 章 Simulink 与通信仿真，介绍 Simulink 软件的安装使用及通信仿真的基本概念。

第 2 章 Simulink 中的基本操作，介绍 Simulink 建模的基本操作方法。

第 3 章 常用基本模块，介绍 Simulink 基本模块库中的常用模块的使用，这些模块是建模中经常用到的基本模块。

第 4 章 通信工具箱，Simulink 自带通信工具模块库，本章介绍在仿真中经常用到的通信工具箱模块。

第 5 章 模型调试，在熟悉前 4 章之后，读者就可以自行建立仿真模型了，所以在本章讲解模型的调试方法。

第 6 章 子系统及封装，介绍封装子系统、条件子系统的方法，以及建立自定义模块库的方法。

第 7 章 Simulink 仿真命令与回调，介绍使用命令行语句来操作 Simulink 模型或模块的方法，以及定义和使用模型及模块回调函数的方法。

第 8 章 S-函数，介绍使用 M 文件及 C 语言编写 S-函数的方法，并给出大量源程序作为参考。

第 9 章 TD-SCDMA 通信系统仿真举例，通过对 TD-SCDMA 物理层业务映射与反射链路路的仿真，来介绍一个综合的通信系统的仿真举例。

其中，第4章和第8章采用了较大的篇幅介绍，也是本书的重点和难点。其他章节内容简单，无需太长时间读者即能理解并掌握。

本书第1章、第5章、第6章、第7章由李贺冰编写；第2章、第8章由袁杰萍编写；第3章、第4章由孔俊霞编写；第9章由李贺冰及袁杰萍共同编写。

感谢解放军信息工程大学信息工程学院二系杨育红副教授、辛刚讲师及硕士研究生娄朝林和钱锬的大力支持与帮助。

由于时间仓促，加之作者水平有限，书中错误之处在所难免，在此恳请读者批评指正。

作者

目 录

第 1 章 Simulink 与通信仿真	1
1.1 仿真技术与通信仿真	1
1.1.1 仿真技术	1
1.1.2 计算机仿真的一般过程	1
1.1.3 通信仿真的概念	2
1.1.4 通信仿真的一般步骤	2
1.2 Simulink 及其工作原理	4
1.2.1 Simulink 简介	4
1.2.2 Simulink 的安装与启动	5
1.2.3 Simulink 仿真的工作原理	6
1.3 一个使用 Simulink 仿真的简单举例	7
本章小结	9
第 2 章 Simulink 中的基本操作	10
2.1 模块基本操作	10
2.1.1 调整模块的大小	10
2.1.2 模块的旋转	11
2.1.3 模块的内部复制	11
2.1.4 删除模块	12
2.1.5 选中多个模块	12
2.1.6 编辑模块的标签	13
2.1.7 增加阴影	14
2.2 信号线基本操作	14
2.2.1 绘制信号线	14
2.2.2 移动线段	15
2.2.3 移动节点	15
2.2.4 删除信号线	15
2.2.5 分割信号线	16
2.2.6 信号线标签	16
2.2.7 信号线标签的移动	16
2.2.8 信号线标签的传递	17
2.3 模型的注释	18
2.3.1 增加注释的方法	18

2.3.2	改变注释字体	19
2.4	模型的打印	19
2.4.1	菜单打印	19
2.4.2	嵌入文档中	19
2.4.3	使用 Matlab 中的 print 命令	19
	本章小结	20
第 3 章	常用基本模块	21
3.1	Simulink 库模块介绍	22
3.1.1	数学运算	22
3.1.2	端口和子系统	30
3.1.3	信号路径	33
3.1.4	信号接收	36
3.1.5	用户自定义功能模块	41
3.2	DSP Blockset 库模块介绍	42
3.2.1	矩阵运算	42
3.2.2	信号管理	46
3.2.3	信号运算	54
	本章小结	56
第 4 章	通信工具箱	57
4.1	信源	57
4.1.1	控制源	57
4.1.2	数字源	61
4.1.3	噪声源	63
4.1.4	序列生成器	66
4.2	信源编/译码	68
4.2.1	压缩和扩展	68
4.2.2	编码和解码	71
4.3	差错参数设置编/译码	76
4.3.1	基本模块	76
4.3.2	卷积编/译码	87
4.3.3	CRC 校验	92
4.4	交织/解交织	98
4.4.1	块交织/解交织模块	98
4.4.2	卷积交织/解交织模块	108
4.5	调制与解调	111
4.5.1	基带模拟幅度调制	111
4.5.2	基带模拟频率调制	117
4.5.3	基带模拟相位调制	118
4.6	信道	119

4.6.1	加性高斯白噪声信道	120
4.6.2	二进制对称信道	121
4.6.3	多径瑞利衰落信道	122
4.7	信宿	126
4.7.1	眼图、发散图和轨迹图	126
4.7.2	错误率统计	132
4.7.3	将结果输出到文件	135
	本章小结	135
第 5 章	模型调试	137
5.1	Simulink 调试器	137
5.1.1	启动图形调试器	137
5.1.2	调试器的窗口介绍	138
5.2	使用 Simulink 调试器调试模型	139
5.3	使用命令行方式调试模型	144
	本章小结	149
第 6 章	子系统及封装	150
6.1	简单子系统的建立	150
6.1.1	直接生成子系统	150
6.1.2	使用 Subsystem 模块建立子系统	151
6.1.3	查看模型中的子系统结构	152
6.2	条件执行子系统的建立	153
6.2.1	使能子系统	153
6.2.2	触发子系统	155
6.2.3	函数调用触发子系统	156
6.2.4	触发使能子系统	160
6.2.5	其他条件执行子系统	160
6.3	子系统的封装	161
6.3.1	一个封装子系统的例子	161
6.3.2	Mask editor 介绍	162
6.3.3	编辑子系统图标	163
6.3.4	为子系统增加参数	166
6.3.5	封装子系统的初始化设置	168
6.3.6	封装子系统的文档编辑	169
6.3.7	查看封装和解封装	170
6.4	模块库的建立与维护	171
6.4.1	模块库的概念及应用	171
6.4.2	模块库的建立与修改	171
6.4.3	建立模块库中的子模块库	172
6.4.4	将自定义模块库加入到 Simulink 模块库列表中	174

本章小结	176
第 7 章 Simulink 仿真命令与回调	177
7.1 使用 Simulink 命令构造系统模型	177
7.2 使用 Simulink 命令进行仿真	186
7.3 回调	190
7.3.1 回调函数的介绍	190
7.3.2 加载回调函数	191
7.3.3 回调举例	192
本章小结	193
第 8 章 S-函数	194
8.1 S-函数的基本概念	194
8.1.1 与 S-函数相关的一些基本概念	194
8.1.2 S-函数工作的基本原理	196
8.2 编写 M 文件的 S-函数	199
8.2.1 一个简单的 M 文件 S-函数例子	199
8.2.2 M 文件 S-函数模板	202
8.2.3 M 文件 S-函数举例	207
8.3 C 语言 S-函数	228
8.3.1 一个简单的 C 语言 S-函数举例	228
8.3.2 C 语言 S-函数模板	232
8.3.3 C 语言 S-函数举例	237
8.4 S-Function Builder 的使用方法	280
8.4.1 S-Function Builder 如何创建 S-函数	282
8.4.2 设置包含路径	282
8.4.3 S-Function Builder 的界面及使用方法	282
8.4.4 举例说明	284
本章小结	287
第 9 章 TD-SCDMA 通信系统仿真举例	288
9.1 TD-SCDMA 第 3 代移动通信系统介绍	288
9.1.1 TD-SCDMA 概述	288
9.1.2 TD-SCDMA 物理信道的一些概念	289
9.2 TD-SCDMA 物理层上行链路仿真举例	291
9.2.1 TD-SCDMA 物理层上行链路简介	291
9.2.2 业务映射流程	292
9.2.3 业务映射各模块的仿真实现	293
9.2.4 业务逆映射各模块的仿真实现	314
本章小结	327
参考文献	328

第 1 章 Simulink 与通信仿真

作为全书的开始，本章中将介绍 Simulink 软件和 Simulink 的工作原理以及通信仿真的基本概念和注意事项，这对于一个初学者来说是必要的。读者可以从中学了解自己将要接触的知识，在脑海中形成一个框架，继而在后面的学习中不断地来填充这个框架，使之成为一个完整的系统。类似于其他编程书籍，本书也将在本章中给出一个类似 hello world! 的例子，让读者快速了解 Simulink 的使用方法，从而消除对 Simulink 的陌生感。

1.1 仿真技术与通信仿真

仿真是衡量系统性能的工具，它通过仿真模型的仿真结果来推断原系统的性能，从而为新系统的建立或原系统的改造提供可靠的参考。仿真是科学研究和工程建设中不可缺少的方法。

实际的通信系统是一个功能结构相当复杂的系统，对这个系统作出的任何改变都可能影响到整个系统的性能和稳定。因此，在对原有的通信系统作出改进或建立一个新系统之前，通常对这个系统进行建模和仿真，通过仿真结果衡量方案的可行性，从中选择最合理的系统配置和参数设置，然后再应用到实际系统中，这个过程就是通信仿真。

本节就来介绍仿真技术与通信仿真的一些基本概念。

1.1.1 仿真技术

仿真技术是以相似原理、系统技术、信息技术以及仿真应用领域的有关技术为基础，以计算机系统、与应用有关的物理效应设备及仿真器为工具，利用模型对系统（已有的或设想的）进行研究的一门多学科的综合技术。

仿真本质上是一种知识处理的过程。典型的系统仿真过程包括：系统模型建立、仿真模型建立、仿真程序设计、模型确认、仿真实验和数据分析处理等，它涉及很多领域的知识和经验。系统仿真可以有很多种分类方法。按模型的类型可以分为连续系统仿真、离散系统仿真、连续/离散（时间）混合系统仿真和定性系统仿真；按仿真的实现方法和手段可以分为物理仿真、计算机仿真、硬件在回路中的仿真（半实物仿真）和人在回路中的仿真；根据人和设备的真实程度，可以分为实况仿真、虚拟仿真和构造仿真。

1.1.2 计算机仿真的一般过程

前面提到过，仿真在实现方法上可以分为多种。而本书介绍的 Simulink 的仿真技术则属于计算机仿真的一种。计算机仿真的一般过程可以表述如下。

(1) 描述仿真问题，明确仿真目的。

(2) 项目计划、方案设计与系统定义。根据仿真目的确定相应的仿真结构，规定相应仿真系统的边界条件与约束条件。

(3) 数学建模。根据系统的先验知识、实验数据及其机理研究，按照物理原理或者采取系统辨识的方法，确定模型的类型、结构及参数。注意，要确保模型的有效性和经济性。

(4) 仿真建模。根据数学模型的形式、计算机类型、采用的高级语言或其他仿真工具，将数学模型转换成能在计算机上运行的程序或其他模型。

(5) 实验。设定实验环境/条件和记录数据，进行实验并记录数据。

(6) 仿真结果分析。根据实验要求和仿真目的对实验结果进行分析处理，根据分析结果修正数学模型、仿真模型或仿真程序或者修正/改变原型系统，以进行新的实验。模型是否能够正确地表示实际系统，并不是一次完成的，而是需要比较模型和实际系统的差异，不断地修正和验证才能完成。

1.1.3 通信仿真的概念

通信仿真是衡量通信系统性能的工具。通信仿真可以分为离散事件仿真和连续仿真。在离散事件仿真中，仿真系统只对离散事件做出响应，而在连续仿真中，仿真系统对输入信号产生连续的输出信号。离散事件仿真是对实际通信系统的一种简化，它的仿真建模比较简单，整个仿真过程需要花费的时间也比连续仿真少。虽然离散事件仿真舍弃了一些仿真细节，在有些场合显得不够具体，但仍然是通信仿真的主要形式。

与一般的仿真过程类似，在对通信系统实施仿真之前，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，它从当前系统出发，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的数据。通过对仿真数据的分析可以得到相应的结论，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，这时候改造后的通信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，在整个通信系统的仿真过程中，人为因素自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，由人对当前的情况做出正确的判断。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。

1.1.4 通信仿真的一般步骤

通信系统仿真一般分成 3 个步骤，即仿真建模、仿真实验和仿真分析。应该注意的是，通信仿真是一个螺旋式发展的过程，因此，这 3 个步骤可能需要循环执行多次之后才能够获得令人满意的仿真结果。

1. 仿真建模

仿真建模是根据实际通信系统建立仿真模型的过程，它是整个通信仿真过程中的一个关键步骤，因为仿真模型的好坏直接影响着仿真的结果以及仿真结构的真实性和

可靠性。

仿真模型是对实际系统的一种模拟和抽象。过于简单的仿真模型会忽略实际系统的细节，在一定程度上会影响仿真结果的可靠性。但过于复杂的仿真模型则会产生很多相互因素，从而大大延长仿真时间和增加仿真结果分析的复杂度。因此，仿真模型的建立需要综合考虑其可行性和简单性。在仿真建模过程中，可以先建立一个相对简单的仿真模型，然后再根据仿真结果和仿真过程的需要逐步增加仿真模型的复杂度。

在仿真建模过程中，首先需要分析实际系统存在的问题或设立系统改造的目标，并把这些问题和目标转化成数学变量和公式。确定了仿真目标后，下一步是获取实际通信系统的各种运行参数，如通信系统占用的带宽及其频率分布，系统对于特定的输入信号产生的输出等。

在以上工作准备好之后，就是仿真软件的选择了。除了使用传统的编程语言外，目前工程技术人员比较倾向于更加专业和方便使用的专门的仿真软件。比较常见的包括 Matlab、OPNET 和 NS2 等。

使用仿真软件建立好仿真模型后，仿真建模的这一步骤就基本完成了。值得注意的是，在进行下一步工作前，要做好仿真模型文档说明，这有利于使仿真工作条例更加清晰，在调试过程中能够很容易找出错误所在并及时纠正。

2. 仿真实验

仿真实验是一个或一系列针对仿真模型的测试。在仿真实验过程中，通常需要多次改变仿真模型输入信号的数值，以观察和分析仿真模型对这些输入信号的反应，以及仿真系统在这个过程中表现出来的性能。需要强调的一点是，仿真过程中使用的输入数据必须具有一定的代表性，即能够从各个角度显著地改变仿真输出信号的数值。

在明确了仿真系统对输入/输出信号的要求之后，最好把这些设置整理成一份简单的文档。编写文档是一个好习惯，它能够帮助回忆起仿真设计过程的一些细节。当然，文档的编写不一定要求很规范，并且文档大小应该视仿真设计的规模而定。

对于需要较长时间的仿真，应该尽可能地使用批处理方式，使得仿真过程在完成一种参数配置的仿真之后，能够自动启动针对下一个参数配置的下一次仿真。这种方式减少了仿真过程中的人工干预，提高了系统利用率和仿真效率。

3. 仿真分析

仿真分析是一个通信仿真流程中的最后一个步骤。在仿真分析过程中，用户已经从仿真过程中获得了足够多的关于系统性能的信息，但是这些信息只是一些原始数据，一般还需要经过数值分析和处理才能够获得衡量系统性能的尺度，从而获得对仿真性能的一个总体评价。常用的系统性能尺度包括平均值、方差、标准差、最大值和最小值等，它们从不同的角度描绘了仿真系统的性能。

需要注意的是，即使仿真过程中收集的数据正确无误，由此得到的仿真结果并不一定就是准确的。造成这种结果的原因可能是输入信号恰好与仿真系统的内部特性相吻合，或者输入的随机信号不具有足够的代表性。

图表是最简洁的说明工具，它具有很强的直观性，便于分析和比较，因此，仿真分析的结果一般都绘制成图表形式。而且，一般使用的仿真工具都具有很强的绘图功能，能够便捷地绘制各种类型的图表。

以上就是通信系统仿真的一个循环。应该强调的是，仿真分析并不一定意味着通信仿真过程的完全结束。如果仿真分析得到的结果达不到预期的目标，用户还需要重新修改通信仿真模型，这时候仿真分析就成为了一个新循环的开始。

1.2 Simulink 及其工作原理

Simulink 是 Matlab 中的一种可视化仿真工具，广泛应用于线性系统、数字控制、非线性系统以及数字信号处理的建模和仿真中。Simulink 采用模块化建模方式，每个模块都有自己的输入/输出端口，实现一定的功能。在 Simulink 中，仿真模型表现为若干个仿真模块的集合以及这些模块之间的连接关系，这就使得仿真的设计和分析过程变得相对直观和便捷，同时有利于仿真模型的扩充。

在本节中，将对 Simulink 本身及其软件的安装和工作原理作一介绍。

1.2.1 Simulink 简介

Simulink 是 Matlab 提供的用于对动态系统进行建模、仿真和分析的工具包。Simulink 提供了专门用于显示输出信号的模块，可以在仿真过程中随时观察仿真结果。同时，通过 Simulink 的存储模块，仿真数据可以方便地以各种形式保存到工作区间或文件中，以供用户在仿真结束之后对数据进行分析和处理。另外，Simulink 把具有特定功能的代码组织成模块的方式，并且这些模块可以组织成具有等级结构的子系统，因此具有内在的模块化设计要求。基于以上优点，Simulink 作为一种通用的仿真建模工具，广泛用于通信仿真、数字信号处理、模糊逻辑、神经网络、机械控制和虚拟现实等领域中。

作为一款专业仿真软件，Simulink 具有以下特点。

- (1) 基于矩阵的数值计算。
- (2) 高级编程语言以及可视化的图形操作界面。
- (3) 包含各个领域的仿真工具箱，使用方便快捷并可以扩展。
- (4) 丰富的数据 I/O 工具。
- (5) 提供与其他高级语言的接口。
- (6) 支持多平台 (PC/UNIX)。

根据输出信号与输入信号的关系，Simulink 提供 3 种类型的模块：连续模块、离散模块和混合模块。连续模块是指输出信号随着输入信号发生连续变化的模块；离散模块则是输出信号以固定间隔变化的模块。对于连续模块，Simulink 采用积分方式计算输出信号的数值，因此，连续模块主要涉及到数的计算及其积分。离散模块的输出信号在下一个抽样时刻到来之前保持恒定，这时候，Simulink 只需以一定的间隔计算输出信号的数值。混合模块是根据输入信号的类型来确定输出信号类型的，它既能够产生连续输出信号，也能够产生离散输出信号。

如果一个仿真模型中只包含离散模块，这时候，Simulink 采用固定步长方式进行仿真（即每隔一定的间隔计算一次输出信号）。当所有的离散模块都有相同的抽样间隔时，Simulink 只需要按照这个间隔实施仿真；否则，Simulink 采用多速率方式进行仿真。多速

率仿真模式的一种方案是选取一个最大可用间隔，使之适用于所有的离散模块。这个间隔一般是各个离散模块抽样间隔的最大公约数。对于可变步长方式，多速率仿真模型按照各个模块的抽样间隔列出系统可能的仿真时刻，在仿真时刻到来的时候，只对相应的离散模块实施仿真，从而在一定程度上提高了仿真的效率。

如果仿真模型中包含了连续模块，Simulink 将采用连续方式对模块进行仿真。如果模块中既包含连续模块，又包含离散模块，Simulink 采用两种仿真步长进行仿真。对于其中的离散模块，Simulink 可以按照离散模块的方式进行仿真，这个仿真步长称之为大步长。在每个大步长仿真中，Simulink 使用小步长间隔，通过积分运算得到连续状态的当前输出信号。

1.2.2 Simulink 的安装与启动

1. 安装

安装 Simulink 可以在安装 Matlab 时随着 Matlab 一起安装到计算机内。而安装了 Matlab 却没有安装 Simulink 的话，也可以继续使用安装程序将 Simulink 安装到计算机内。两者方法基本一样。

安装 Simulink 的方法是，在启动了 Matlab 的安装程序后，在 Matlab 的安装选项页中选中 Simulink 组件。其他组件可以按需要选择是否安装。选择后，单击 Next 按钮，计算机就会自动将 Simulink 安装到 Matlab 的目录下，如图 1.1 所示。

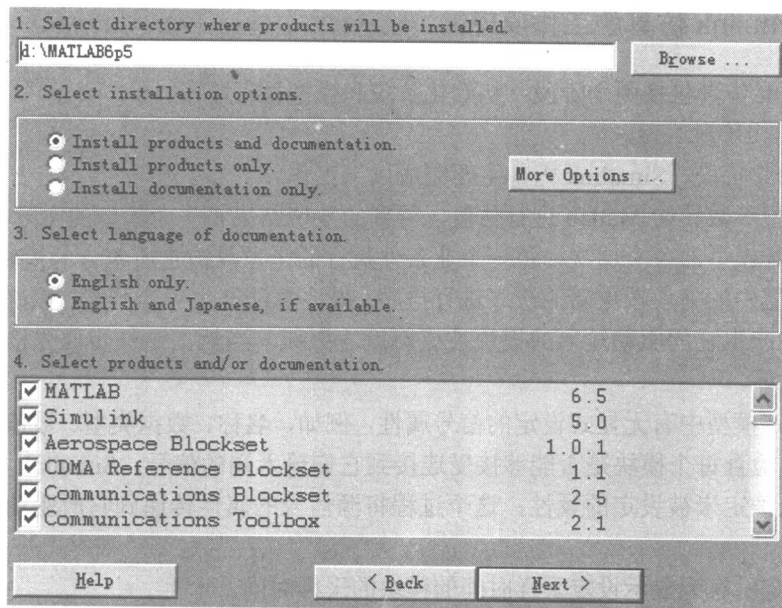


图 1.1 安装 Simulink 组件

这里要注意，不能在不安装 Matlab 的情况下单独安装 Simulink，因为 Simulink 的运行需要依托 Matlab 来进行。

2. 启动

要启动 Simulink，首先要运行 Matlab。在 Matlab 窗口中单击按钮  或在命令行中输入命令 `Simulink`，则会打开 Simulink 库模块浏览器界面，如图 1.2 所示。



图 1.2 Simulink 库模块浏览器界面

1.2.3 Simulink 仿真的工作原理

Simulink 仿真包括两个阶段：初始化阶段和模型执行阶段。

1. 初始化阶段

在初始化阶段，Simulink 内部主要完成以下工作。

- (1) 模型参数传给 Matlab 进行估值，得到的数值结果将作为模型的实际参数。
- (2) 展开模型各个层次，每一个非条件执行的子系统被它所包含的模块代替。
- (3) 模型中的模块按更新的次序进行排序。排序算法产生一个列表，以确保具有代数环的模块在产生它的驱动输入的模块被更新后才更新。当然，这一步要先检测出模型中存在的代数环。

(4) 决定模型中是否有显式设定的信号属性，例如，名称、数据类型、数值类型以及大小等，并且检查每个模块是否能够接受连接到它们输入端的信号。Simulink 使用属性传递的过程来确定未被设定的属性，这个过程将源信号的属性传递到它所驱动的模块的输入信号。

(5) 决定所有无显示设定采样时间的模块的采样时间。

(6) 分配和初始化用于存储每个模块的状态和输入当前值的存储空间。

完成以上工作后，就可以进行下一步工作了，也就是模型执行阶段。

2. 模型执行

一般模型是使用数值积分来进行仿真的，所运用的仿真解法器（仿真算法）依赖于模型提供它的连续积分能力。计算微分可分为以下两步来进行。

首先，按照排序所确定的次序计算每个模块的输出。

然后，根据当前时刻的输入和状态来决定状态的微分；得到微分向量后再把它返回给解法器；后者用它来计算下一个采样点的状态向量。一旦新的状态向量计算完毕，被采样的数据源模块和接收模块才被更新。

在仿真开始时，模型设定待仿真系统的初始状态和输出。在每一个时间步中，Simulink 计算系统的输入、状态和输出，并更新模型来反映计算出的值。在仿真结束时，模型得出系统的输入、状态和输出。

在每个时间步中，Simulink 所采取的动作依次如下。

(1) 安排好的次序更新模型中模块的输出。Simulink 通过调用模块的输出函数计算模块的输出。Simulink 只把当前值、模块的输入以及状态量传给这些函数计算模块的输出。对于离散系统，Simulink 只有在当前时间是模块采样时间的整数倍时，才会更新模块的输出。

(2) 安排好的次序更新模型中模块的状态。Simulink 计算一个模块的离散状态的方法是调用模块的离散状态更新函数。而对于连续状态，则对连续状态的微分（在模块可调用的函数里，有一个用于计算连续微分的函数）进行数值积分来获得当前的连续状态。

(3) 检查模块连续状态的不连续点。Simulink 使用过零检测来检测连续状态的不连续点。

(4) 计算下一个仿真时间步的时间。这是通过调用模块获得下一个采样时间函数来完成的。

1.3 一个使用 Simulink 仿真的简单举例

经过前面的介绍，相信读者已经对 Simulink 和仿真概念有了一个初步的认识。作为本章的最后一节，这里给出一个使用 Simulink 进行仿真的最简单的例子，目的是让读者在阅读后面的内容之前，对 Simulink 的建模方法有一个直观的印象。

创建一个仿真模型，其功能是将正弦发生器产生的正弦波经过 2 倍放大，然后在示波器中显示出来。

具体操作步骤如下。

(1) 启动 Simulink，然后单击  按钮，新建一个空的模型，如图 1.3 所示。

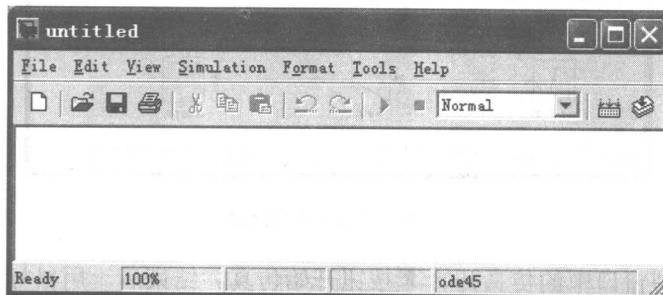


图 1.3 新建的空模型

(2) 从 Simulink 的 Sources 子模块库中找到 Sine Wave 模块，按下鼠标左键，把它拖至新建的模型窗口中，这样模型中就有了正弦发生器，如图 1.4 所示。

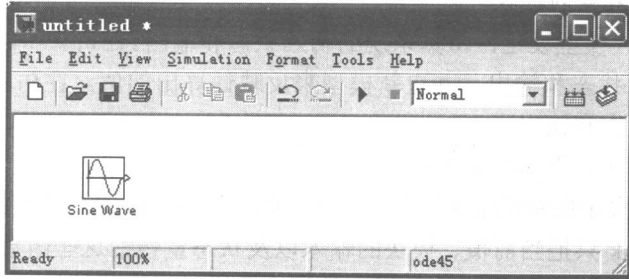


图 1.4 加入了正弦发生器的模型

(3) 采用同样的方法，从 Math Operations 子模块库中将 Gain 模块拖至模型，再将 Sinks 子模块库中的 Scope 模块拖至模型中，如图 1.5 所示。

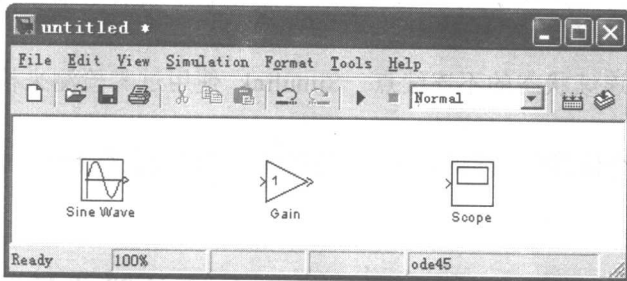


图 1.5 完成了模块添加的模型

(4) 把鼠标指向正弦发生器右侧的输出端，当光标变为十字字符时，按住鼠标左键，移向 Gain 模块的输入端，松开鼠标按键就完成了两个模块之间的信号连线。使用同样方法连接 Gain 模块与 Scope 模块之间的信号连线。用鼠标左键双击 Gain 模块，打开该模块的控制对话框，将参数 Gain 的值设为 2。这样整个模型就搭建完毕了，如图 1.6 所示。

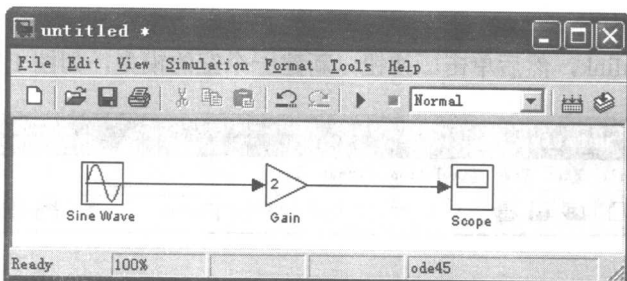



图 1.6 搭建完毕的模型

(5) 单击模型窗口中的仿真开始 ▶ 按钮开始仿真。结束后，用鼠标左键双击 Scope 模块，会打开示波器窗口，可以看到被放大 2 倍的正弦曲线。再单击示波器窗口上的自动刻度  按钮，使得波形能够充满整个坐标，如图 1.7 所示。