

# M

# ATLAB

## Simulink 动态系统 建模与仿真 (第二版)

李颖 主编

王海斌 朱伯立 刘春慧 副主编



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

# 前 言

---

本书是《Simulink 动态系统建模与仿真基础》(西安电子科技大学出版社, 2004)的修订版。随着软件技术的快速发展, MATLAB 已由 1999 年的 5.3 版本发展到 2008 年的 R2008a(7.6) 版本, 而作为 MATLAB 软件重要组成部分的 Simulink 软件包, 也已由当时的 3.0 版本发展到 7.1 版本。编者在多年的使用和学习中体会到, Simulink 软件包带给用户的不仅是灵活便利的操作和精致的界面效果, 更由于其功能的日趋强大和完善, 满足了各个学科、不同工程领域中设计人员和研究人员的建模与仿真需求。欧美许多公司在进行产品研制阶段进行的仿真试验中主要使用的就是 Simulink。因此, 多年以来, 编者一直关注着该软件包的功能更新, 并为每次发布的新功能感到欣喜; 同时, 也希望有机会对《Simulink 动态系统建模与仿真基础》一书进行升级修订, 向读者介绍这个经受了多年考验、在各个领域广受欢迎的强大软件。

本书是应读者要求和市场需求而对第一版书的功能升级和补充。本书介绍的是 MATLAB R2007a 版, 即 MATLAB 7.4 中的 Simulink 6.6 软件包。在这个版本中, MATLAB 的整个产品包中更新了多个模块, 增加了 350 个新特性, 对于 MATLAB 仿真工具的 Simulink 软件包, 也增加了很多新特性。下面列出的是读者在实际工作中经常会用到的 Simulink 6.6 新特性:

- 增加了支持多维信号的模块。关于多维信号及信号操作可参看第 3 章。
- 新增了模块的回调函数。关于模块的回调函数可参看第 2.5 节。
- 几乎在所有的模块库中新添了模块。关于 Simulink 的模块名称及功能简介, 可以参看附录 C。
- 对仿真模型的参数设置做了较大的改动, 尤其是在仿真模型的诊断选项中增加了更多的可设置参数。关于仿真参数的设置内容可参看第 7 章。
- 在执行连续状态的模块中可以指定状态名称, 既可以用 ContinuousStateAttributes 参数指定状态名称, 也可以在模块的参数对话框中指定状态名称。下面的模块可以指定连续状态的名称: Interator、State-Space、Transfer Fcn、Variable Transport Delay、Zero-Pole。由于篇幅有限, 附录 A 中只列出了常用的 Continuous 库、Discontinuous 库和 Discrete 库模块的专用参数。
- 由于仿真参数设置的内容改动较大, 因此增加了 Simulink 模型的默认参数设置。关于默认参数的设置可参看第 1.7 节。

与第一版相比, 本书在保持原书结构和风格的基础上, 对部分内容进行了扩充, 并增加了部分仿真实例; 同时, 介绍了 Simulink 6.6 软件包中的部分新特性, 尤其对 Simulink 6.6 仿真参数设置中新增的各种属性进行了较为详细的介绍。限于篇幅和本书的侧重点, 本书

对某些新特性并没有涉及，如 Simulink 6.6 中新增的对 MATLAB 表达式中可调参数的支持等功能。读者如果有兴趣，可以登录 MathWorks 公司的网站进行查询。要把 Simulink 软件包的所有功能用得得心应手，唯一有效的途径就是在工程实践中多尝试，并不断地进行经验总结。

感谢西安电子科技大学出版社对本书的肯定，使本书得以再版。书中的不足之处还请广大读者不吝赐教。

编 者

2009 年 7 月

# 第一版前言

MathWorks 公司创建于 1984 年，该公司推出的 MATLAB 软件，一直以其强大的功能在同类数值计算软件中独领风骚。目前，MATLAB 软件的最新版本 6.5.1，即 MATLAB Release 13 SP1，已经发展为多学科、跨平台的功能强大的软件包，在全球 100 多个国家和地区拥有数以百万计的正式用户。

在过去几年中，Simulink 已经成为院校和工程领域中广大师生及研究人员用来建模和仿真动态系统的软件包。Simulink 鼓励人们去尝试，可以用它轻松地搭建一个系统模型，并设置模型参数和仿真参数。由于 Simulink 是交互式的应用程序，因此在仿真过程中，可以在线修改仿真参数，并立即观察到改变后的仿真结果。

利用 Simulink，可以建立更趋于真实的非线性模型，如考虑摩擦中的各个因素、空气阻力、齿轮的传动损耗以及其他描述真实世界中各种现象的干扰因素。安装了 Simulink 的计算机就如真正的建模和系统分析实验室一样，在这个实验室中，可以分析汽车离合器系统的动作过程、飞机机翼的抖动方式、经济学中的货币规律以及其他可以用数学方式描述的动态系统，这是非常重要的。因为在真实世界中的系统不可能都是线性系统，更多的系统需要考虑各种复杂的非线性环节，对系统的真实建模对于分析结论的正确性及系统设计都具有非常重要的意义。正因为如此，全球数以万计的工程人员都使用 Simulink 创建模型并寻找解决实际问题的方法，掌握 Simulink 已经成为专业技术人员必不可少的一项技能。

本书介绍的是目前最新的 MATLAB Release 13 SP1 版本下的 Simulink 5.1 软件包。

全书共分 12 章，从各个方面介绍了 Simulink 软件包的强大功能：

第 1 章：Simulink 基础。介绍什么是 Simulink，以及 Simulink 的主要特性，并引导读者建立一个简单的 Simulink 模型，同时还介绍了如何保存和打印 Simulink 模型。

第 2 章：Simulink 模块操作。介绍构成 Simulink 模型的基本要素——模块，包括在模型中模块操作的各种方式。

第 3 章：Simulink 信号操作。介绍 Simulink 中的信号概念，以及如何判别不同的信号类型，如何在模型中标识信号等。

第 4 章：Simulink 动态系统建模。介绍在 Simulink 中建立动态系统模型的要素，以及如何在 Simulink 中实现动态系统的数学模型，并给出模型创建过程中的注意事项。

第 5 章：Simulink 仿真设置。介绍如何根据用户模型设置模型仿真中的各种参数，包括仿真时间、仿真算法、仿真步长和误差容限，这是 Simulink 仿真中非常重要的一部分。

第 6 章：Simulink 动态系统仿真。介绍了 Simulink 仿真动态系统的过程，还详细说明了如何在 Simulink 中仿真连续系统、离散系统、混合系统和多速率系统模型，并给出建模实例说明动态系统建模和仿真的实现过程。

第 7 章：高级仿真概念。介绍如何在 Simulink 中利用仿真的高级选项仿真模型，以获得更准确的仿真结果，包括：过零检测、代数环、高级积分器和仿真参数对话框的高级选项设置。

第 8 章：使用命令行仿真。介绍如何在 MATLAB 命令窗口中利用 Simulink 的仿真命令仿真系统模型，如果用户想要重复运行仿真或者分析、比较在不同参数下的仿真结果，那么利用命令行进行仿真则更有优势。

第 9 章：使用子系统。子系统是 Simulink 中的一个重要概念，这里介绍了 Simulink 中子系统的分类，即虚拟子系统和非虚拟子系统。本章还给出了例程说明如何在 Simulink 中创建条件执行子系统，以及如何创建类似 C 语言的控制流子系统。

第 10 章：封装子系统。用户可以利用 Simulink 中的封装子系统功能建立自定义的用户模块，本章以实例说明如何利用封装编辑器创建自定义模块和可配置子系统。

第 11 章：Simulink 调试器。调试器是调试模型和查找模型错误的重要工具，本章介绍了 Simulink 中的调试器类型，以及如何利用不同类型的调试器调试模型，并显示仿真信息和模型信息。

第 12 章：编写 M 语言 S-函数。S-函数是系统函数，它扩展了 Simulink 的功能。本章介绍了什么是 S-函数，并给出实例说明了编写连续状态、离散状态和混合状态的 M 语言 S-函数的方法。

在本书的编写过程中，作者收集了国内外大量的、最新的权威资料，结合了 MathWorks 公司中国独家代理商——北京经纬恒润科技有限公司多年来在 MATLAB 软件应用以及培训教学方面的经验。本书适用于从事理工科学习和研究的各行各业的设计人员、大专院校的老师和学生，也可供研究人员学习 Simulink 工具时使用。

如果中国国内的用户需要购买 MATLAB 软件，请按照下列地址与北京经纬恒润科技有限公司联系：

■ 公司总部

- 地址：北京市朝阳区安翔北里甲 11 号北京创业大厦 B 座 8 层
- 邮编：100029
- 电话：010-82011456
- 传真：010-62073600

■ 上海办事处

- 地址：上海市徐汇区漕宝路 70 号光大会展中心 D 座 505 室
- 邮编：200235
- 电话：021-64325413/5/6
- 传真：021-64325144

■ 成都办事处

- 地址：成都市人民南路一段 86 号城市之心大厦 23 楼 N 座
- 邮编：610016
- 电话：028-86203381/2/3
- 传真：028-86203381

北京经纬恒润科技有限公司的互联网地址：[www.hirain.com](http://www.hirain.com)。

北京经纬恒润科技有限公司的技术论坛：[www.hirain.com/forum/](http://www.hirain.com/forum/)。

在本书的编写过程中，得到了西安电子科技大学出版社毛红兵编辑的大力支持，同时也得到了 MathWorks 公司中国独家代理商——北京经纬恒润科技有限公司的鼎力协助，在这里对他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促，书中难免存在一些不妥之处，诚望广大读者谅解，并且提出宝贵的意见和建议，以便我们在再版时改进。

作者  
2004 年 4 月

# 目 录

<b>第 1 章 Simulink 基础</b> .....1	2.4.2 在标注中使用 TeX 格式命令..... 35
1.1 Simulink 简介.....1	2.5 模块属性对话框..... 36
1.2 运行 Simulink 演示程序.....2	2.6 显示模块输出..... 39
1.2.1 运行房屋热力学系统演示模型.....2	2.6.1 设置输出提示..... 39
1.2.2 房屋热力学系统模型说明.....4	2.6.2 模块输出提示选项..... 41
1.2.3 其他 Simulink 演示程序.....7	2.7 控制和显示模块的执行顺序..... 41
1.3 建立一个简单的 Simulink 模型.....7	2.7.1 指定模块优先级..... 41
1.4 保存 Simulink 模型.....11	2.7.2 显示模块执行顺序..... 42
1.5 打印及 HTML 报告.....13	2.8 查表编辑器..... 42
1.5.1 打印模型.....13	2.8.1 编辑查询表数值..... 42
1.5.2 生成模型报告.....15	2.8.2 显示 N-维表..... 45
1.6 打印边框编辑器.....16	2.8.3 绘制 LUT 表曲线..... 46
1.6.1 用户接口.....17	2.8.4 编辑自定义 LUT 模块..... 46
1.6.2 设计打印边框.....17	2.9 鼠标和键盘操作概述..... 47
1.6.3 打印边框示例.....19	<b>第 3 章 Simulink 信号操作</b> ..... 50
1.7 Simulink 参数设置.....21	3.1 信号基础..... 50
1.7.1 常用 Simulink 参数.....21	3.1.1 信号属性及分类..... 50
1.7.2 Simulink 字体参数.....24	3.1.2 信号的线型..... 54
1.7.3 Simulink 仿真参数.....25	3.1.3 确定输出信号的维数..... 54
<b>第 2 章 Simulink 模块操作</b> .....27	3.1.4 确定信号及参数维数的准则..... 55
2.1 模块操作.....27	3.1.5 输入和参数的标量扩展..... 56
2.1.1 Simulink 模块类型.....27	3.1.6 设置信号属性..... 57
2.1.2 自动连接模块.....28	3.2 信号及示波器管理器..... 60
2.1.3 手动连接模块.....30	3.2.1 信号及示波器管理器对话框..... 60
2.2 改变模块外观.....30	3.2.2 信号选择对话框..... 63
2.2.1 改变模块方向.....31	3.3 显示信号..... 67
2.2.2 改变模块名称.....31	3.3.1 显示信号属性..... 68
2.2.3 指定方块图颜色.....32	3.3.2 信号标签..... 69
2.3 设置模块参数.....33	3.3.3 信号标签的传递..... 70
2.3.1 设置模块特定参数.....33	3.3.4 操作信号标签..... 71
2.3.2 来自工作区的模块参数.....34	3.4 多维数组信号的连接..... 71
2.4 标注方块图.....35	3.5 信号组操作..... 73
2.4.1 编辑标注.....35	3.5.1 创建信号组..... 74

3.5.2	编辑信号组.....	75	5.1.3	交互运行仿真.....	116
3.5.3	编辑信号.....	76	5.2	设置仿真算法.....	116
3.5.4	编辑波形.....	78	5.2.1	设置仿真时间.....	117
3.5.5	设置输入信号的时间范围.....	80	5.2.2	设置仿真算法.....	117
3.5.6	输出信号组数据及波形.....	81	5.2.3	设置仿真步长.....	122
3.5.7	用信号组仿真.....	81	5.2.4	计算仿真步长.....	125
3.5.8	仿真选项对话框.....	82	5.2.5	设置误差容限.....	126
3.6	复合信号.....	84	5.3	工作区输入/输出设置.....	128
3.6.1	混合信号.....	85	5.3.1	从基本工作区中装载输入.....	129
3.6.2	总线信号.....	86	5.3.2	把输出结果保存到工作区.....	132
3.6.3	总线对象.....	88	5.3.3	装载和保存状态.....	134
<b>第4章</b>	<b>Simulink 动态系统建模</b> .....	<b>91</b>	5.3.4	设置输出选项.....	134
4.1	创建动态系统模型的要素.....	91	5.4	输出信号的显示.....	136
4.1.1	方块图.....	91	5.4.1	Scope 模块和 XY Graph 模块的使用.....	136
4.1.2	系统函数.....	92	5.4.2	悬浮 Scope 模块和 Display 模块的使用.....	138
4.1.3	状态.....	92	5.4.3	返回变量的使用.....	141
4.1.4	模块参数.....	94	5.4.4	To Workspace 模块的使用.....	141
4.1.5	模块采样时间.....	95	<b>第6章</b>	<b>Simulink 动态系统仿真</b> .....	<b>144</b>
4.1.6	用户模块.....	95	6.1	Simulink 动态系统仿真过程.....	144
4.1.7	系统和子系统.....	95	6.1.1	模型编译阶段.....	144
4.1.8	信号.....	96	6.1.2	模型链接阶段.....	145
4.1.9	模块方法和模型方法.....	96	6.1.3	仿真循环阶段.....	146
4.1.10	仿真算法.....	97	6.1.4	求解器的分类.....	148
4.2	Simulink 开放式动态系统建模.....	98	6.2	离散系统仿真.....	149
4.3	动态系统数学模型分类.....	99	6.2.1	差分方程的实现.....	149
4.3.1	常微分方程.....	99	6.2.2	指定采样时间.....	150
4.3.2	差分方程.....	101	6.2.3	采样时间的传递.....	152
4.3.3	代数方程.....	102	6.2.4	确定离散系统的步长.....	154
4.3.4	组合系统.....	103	6.2.5	多速率系统.....	155
4.4	建立方程模型.....	104	6.2.6	线性离散系统.....	157
4.4.1	建立代数方程模型.....	104	6.3	连续系统仿真.....	159
4.4.2	建立简单的连续系统模型.....	108	6.3.1	微分方程的实现.....	159
4.4.3	选择最佳的数学模型.....	109	6.3.2	线性连续系统.....	160
4.4.4	避免无效循环.....	111	6.4	混合系统仿真.....	166
4.4.5	建模提示.....	113	6.5	模型离散化.....	169
<b>第5章</b>	<b>Simulink 仿真设置</b> .....	<b>114</b>	6.5.1	模型离散化 GUI.....	170
5.1	仿真基础.....	114	6.5.2	查看离散化模型.....	174
5.1.1	设定仿真参数.....	114			
5.1.2	控制仿真执行.....	115			



6.5.3 从 Simulink 模型中离散化模块.....	175	7.4.7 模型引用诊断设置.....	232
6.6 诊断仿真错误.....	176	7.5 仿真性能优化设置.....	234
6.6.1 仿真诊断查看器.....	177	<b>第 8 章 使用命令行仿真.....</b>	<b>238</b>
6.6.2 创建用户仿真错误消息.....	178	8.1 通过命令行仿真.....	238
6.7 改善仿真性能和精度.....	179	8.1.1 基本命令行语法——	
6.7.1 提高仿真速度.....	180	sim 命令.....	238
6.7.2 改善仿真精度.....	180	8.1.2 设置仿真参数——	
6.8 综合实例.....	182	simset 命令.....	243
6.8.1 坐标系及其转换.....	183	8.1.3 获取仿真参数——	
6.8.2 转换矩阵算法的		simget 命令.....	247
Simulink 实现.....	183	8.1.4 获取模型属性——	
6.8.3 惯性测量输出的		get_param 命令.....	248
Simulink 实现.....	186	8.1.5 设置模型参数——	
6.8.4 刚体角速度在惯性空间中		set_param 命令.....	250
矢量的 Simulink 实现.....	188	8.1.6 绘制仿真曲线——	
6.8.5 空间姿态角计算.....	188	simplot 命令.....	251
<b>第 7 章 高级仿真概念.....</b>	<b>191</b>	8.1.7 确定模型状态.....	252
7.1 过零检测.....	191	8.2 模型线性化.....	253
7.1.1 过零检测的工作方式.....	191	8.2.1 模型线性化命令.....	253
7.1.2 过零检测的实现方式.....	192	8.2.2 连续系统模型线性化.....	255
7.1.3 使用过零检测.....	194	8.2.3 离散系统模型线性化.....	257
7.1.4 关闭过零检测.....	197	8.2.4 线性化模型分析.....	257
7.2 处理代数循环.....	199	8.3 寻找平衡点.....	258
7.2.1 代数约束.....	199	8.4 编写模型和模块的回调函数.....	263
7.2.2 非代数的直接馈通环.....	201	8.4.1 跟踪回调函数.....	263
7.2.3 切断代数环.....	202	8.4.2 创建模型回调函数.....	264
7.2.4 消除代数环.....	203	8.4.3 创建模块回调函数.....	264
7.2.5 高亮显示代数环.....	205	<b>第 9 章 使用子系统.....</b>	<b>266</b>
7.3 高级积分器.....	206	9.1 创建子系统.....	266
7.3.1 积分器模块参数对话框.....	207	9.1.1 Simulink 子系统定义.....	266
7.3.2 创建自重置积分器.....	211	9.1.2 创建子系统.....	268
7.3.3 在使能子系统间传递状态.....	213	9.1.3 浏览层级子系统.....	269
7.4 仿真诊断选项设置.....	215	9.2 创建条件执行子系统.....	271
7.4.1 仿真算法诊断设置.....	215	9.2.1 使能子系统.....	272
7.4.2 采样时间诊断设置.....	219	9.2.2 触发子系统.....	278
7.4.3 数据验证诊断设置.....	220	9.2.3 触发使能子系统.....	284
7.4.4 类型转换诊断设置.....	225	9.2.4 创建交替执行子系统.....	285
7.4.5 连接诊断设置.....	225	9.2.5 函数调用子系统.....	288
7.4.6 兼容性诊断设置.....	228	9.3 控制流语句.....	290

9.3.1	If-Else 控制流语句	290	11.3.2	设置有条件断点	350
9.3.2	Switch 控制流语句	293	11.4	显示仿真信息	352
9.3.3	While 控制流语句	296	11.4.1	显示模块 I/O	352
9.3.4	For 控制流语句	301	11.4.2	显示代数环信息	353
9.3.5	Stateflow 图和控制流 语句的比较	305	11.4.3	显示系统状态	354
			11.4.4	显示求解器信息	354
<b>第 10 章</b>	<b>封装子系统</b>	<b>308</b>	11.5	显示模型信息	355
10.1	封装子系统概述	308	11.5.1	显示模型中模块的执行顺序	355
10.1.1	封装特征	308	11.5.2	显示模块	356
10.1.2	封装举例	310	<b>第 12 章</b>	<b>编写 M 语言 S-函数</b>	<b>360</b>
10.2	封装编辑器	313	12.1	S-函数	360
10.2.1	Icon 选项页的设置	313	12.1.1	S-函数的定义	360
10.2.2	Parameters 选项页的设置	317	12.1.2	S-函数的工作方式	361
10.2.3	Initialization 选项页的设置	320	12.2	在模型中创建 S-函数	363
10.2.4	Documentation 选项页的设置	322	12.2.1	在模型中使用 S-函数	363
10.3	创建封装模块的动态对话框	323	12.2.2	向 S-函数中传递参数	364
10.3.1	设置封装模块对话框参数	324	12.2.3	何时使用 S-函数	365
10.3.2	预定义封装对话框参数	324	12.3	S-函数的概念	365
10.4	自定义库操作	329	12.3.1	直接馈通	366
10.4.1	建立和使用库	330	12.3.2	动态设置数组维数	366
10.4.2	库连接状态	332	12.3.3	设置采样时间和偏移量	367
10.4.3	显示库关联及信息	333	12.4	编写 M 语言 S-函数	368
10.4.4	把用户库添加到 Simulink 库 浏览器中	334	12.4.1	M 文件 S-函数模板	368
10.5	可配置子系统	334	12.4.2	定义 S-Function 模块特征	370
10.5.1	创建可配置子系统	335	12.5	M 文件 S-函数范例	370
10.5.2	映射 I/O 端口	336	12.5.1	无状态 M 文件 S-函数	371
<b>第 11 章</b>	<b>Simulink 调试器</b>	<b>340</b>	12.5.2	连续状态 S-函数	376
11.1	调试器概述	340	12.5.3	离散状态 S-函数	382
11.1.1	启动调试器	340	12.5.4	混合系统 S-函数	388
11.1.2	调试器的图形用户接口	341	<b>附录</b>		<b>391</b>
11.1.3	调试器的命令行接口	341	<b>附录 A</b>	<b>模型和模块参数</b>	<b>391</b>
11.1.4	调试器命令	343	A.1	模型参数	391
11.2	调试器控制	344	A.2	共用模块参数	411
11.2.1	连续运行仿真	344	A.3	专用模块参数	415
11.2.2	继续仿真	344	A.4	封装参数	425
11.2.3	单步运行仿真	346	<b>附录 B</b>	<b>模型和模块回调函数</b>	<b>429</b>
11.3	设置断点	348	B.1	模型回调函数	429
11.3.1	设置无条件断点	349	B.2	模块回调函数	429
			<b>附录 C</b>	<b>Simulink 模块简介</b>	<b>432</b>

C.1 输入源模块库(Sources) .....	432	C.9 查询表模块库(Look-Up Tables) .....	441
C.2 接收模块库(Sinks) .....	433	C.10 用户定义函数模块库 (User-Defined Functions) .....	441
C.3 连续系统模块库(Continuous).....	434	C.11 模型验证模块库 (Model Verification).....	442
C.4 离散系统模块库(Discretes) .....	435	C.12 端口和子系统模块库 (Ports & Subsystems).....	443
C.5 数学运算模块库 (Math Operations).....	436	C.13 模型实用模块库 (Model-Wide Utilities).....	444
C.6 信号路由模块库(Signal Routing).....	437	附录 D MATLAB 可用的 TeX 字符集 .....	446
C.7 信号属性模块库 (Signal Attributes).....	439		
C.8 非线性模块库(Discontinuous).....	440		

# 第1章 Simulink 基础

本章主要介绍 Simulink 的基本知识,读者通过阅读本章可以对 MATLAB 中的 Simulink 软件包有一个感性的认识。本章的主要内容包括:

- Simulink 简介 什么是 Simulink, 以及利用 Simulink 可以完成的工作
- 运行 Simulink 演示程序 如何启动 Simulink, 并以 Simulink 中的房屋热力学系统演示程序为例, 简要说明 Simulink 模型的功能及运行方式
- 建立简单的 Simulink 模型 引导读者建立一个简单的 Simulink 模型, 以此来了解 Simulink 模型的基本构建方式
- 保存 Simulink 模型 介绍 Simulink 模型文件的类型, 以及如何将 Simulink 模型保存在不同的 Simulink 版本下
- 打印模型及报告 介绍如何打印 Simulink 中的层级模型, 以及如何生成模型报告
- 打印边框编辑器 介绍如何设计打印边框, 以及如何打印带有边框的模型方块图
- Simulink 参数设置 介绍如何设置 Simulink 模型的默认参数, 包括模型默认的常用参数、模型中的默认字体以及模型仿真的缺省参数

## 1.1 Simulink 简介

Simulink 是一个用来建模、仿真和分析动态系统的软件包。它基于 MATLAB 的框图设计环境, 支持线性系统和非线性系统, 可以用连续采样时间、离散采样时间或两种混合的采样时间进行建模, 它也支持多速率系统, 也就是系统中的不同部分具有不同的采样速率。为了创建动态系统模型, Simulink 提供了一个建立模型方块图的可视的图形用户接口(GUI), 用户可以在这个可视窗口中通过单击和拖动鼠标操作来完成系统建模。利用这个接口, 用户可以像用笔在草纸上绘制模型一样, 只要构建出系统的方块图即可。这与以前的仿真软件包要求解算微分方程和编写算法语言程序不同, 它提供的是一种更快捷、更直接明了的方式, 而且用户可以立即看到系统的仿真结果。

Simulink 中包括了许多实现不同功能的模块库。在 Simulink 6.6 中共有 16 个模块库, 这些模块库把各种功能不同的模块分类存放, 如 Sources(输入源模块库)、Sinks(输出模块库)、Math Operations(数学模块库)以及线性模块和非线性模块等各种组件模块库。用户也可以自定义和创建自己的模块。利用这些模块, 用户可以创建层级式的系统模型, 可以自上而下

或自下而上地阅读模型，也就是说，用户可以浏览最顶层的系统，然后用鼠标双击模型中的子系统模块，打开并查看该子系统模型。这不仅方便了工程人员的设计，而且可以使自己的模型方块图功能更清晰，结构更合理。

创建了系统模型后，用户可以利用 Simulink 菜单或在 MATLAB 命令窗口中键入命令的方式选择不同的积分方法来仿真系统模型。对于交互式的仿真过程，使用菜单是非常方便的，但要运行大量的仿真，使用命令行方法则更为有效。例如，执行蒙特卡洛仿真或想要扫描某一范围的参数值时，可以在命令行中输入变参数值，观察参数值改变后的系统输出。此外，利用示波器模块或其他的显示模块，用户可以在仿真运行的同时观察仿真结果，而且可以在仿真运行期间改变仿真参数，并同时观察改变后的仿真结果。最后的结果数据可以输出到 MATLAB 工作区进行后续处理，或利用命令行命令在图形窗口中绘制仿真曲线。

Simulink 中的模型分析工具包括线性化工具和调整工具，这可以从 MATLAB 命令行获取。MATLAB 及其工具箱内还有许多其他的适用于不同工程领域的分析工具。由于 MATLAB 和 Simulink 是集成在一起的，因此无论何时用户都可以在这两个环境中仿真、分析和修改模型。

Simulink 系统建模的主要特性如下：

- 框图式建模。Simulink 提供了一个图形化的建模环境，通过鼠标单击和拖拉操作 Simulink 模块，用户可以在图形化的可视环境中进行框图式建模。

- 支持非线性系统。

- 支持混合系统仿真，即系统中包含连续采样时间和离散采样时间的系统。

- 支持多速率系统仿真，即系统中存在以不同速率运行的组件。

- Simulink 建立的系统模型可以是层级模型，因此用户可以采用自下而上或自上而下的方式建立模型，并一层一层地查看各级模型。

- 用户可以根据需要建立自定义子系统，并把自定义子系统内的模块进行封装，封装后的自定义子系统具有与 Simulink 内嵌模块同样的属性，并可由用户设置模块的属性参数。所有的自定义子系统均可在系统模型中使用。

- MATLAB 与 Simulink 集成在一起，因此，无论何时在这两个环境中的任一环境下都可以建模、分析和仿真用户模型。

## 1.2 运行 Simulink 演示程序

Simulink 自带了许多模型演示程序，这些演示程序分别说明了利用 Simulink 模块搭建的功能不同的模型系统。这里以房屋热力学系统模型为例介绍系统模型的组成及功能，以使读者对 Simulink 有一个基本认识。

### 1.2.1 运行房屋热力学系统演示模型

首先运行 MATLAB，在 MATLAB 的命令窗口内键入下列命令(如图 1-1 所示)：

```
>> mdl='sldemo_househeat';
```

```
>> open_system(mdl);
```

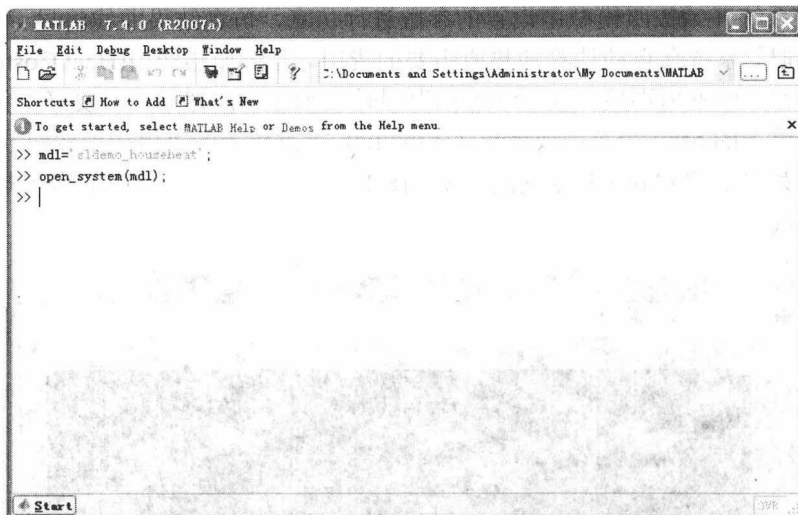


图 1-1

执行该命令后，可启动 Simulink，并打开名称为“sldemo\_househeat”的热力学系统模型窗口，如图 1-2 所示。

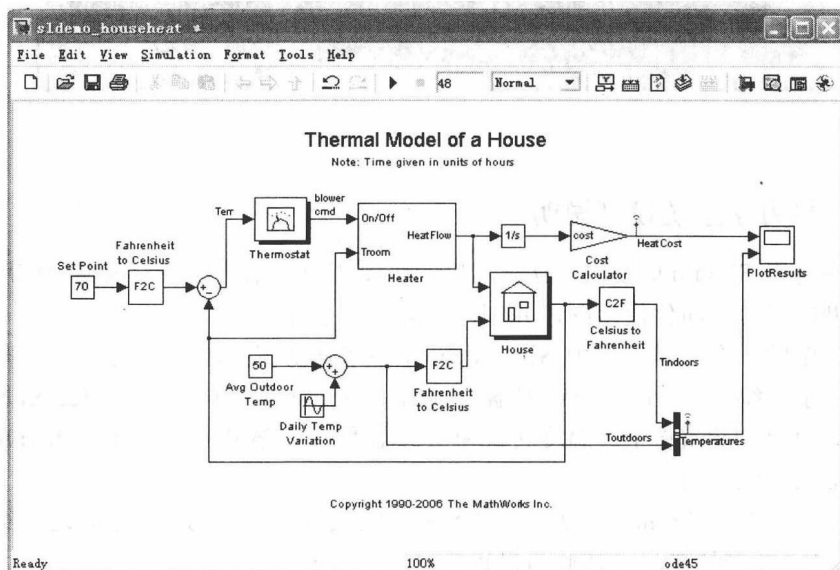




图 1-2

图 1-2 显示的是房屋热力学系统模型的全貌。在模型图的最右侧有一个标注为 PlotResults (系统曲线图)的模块，它实际上实现的就是示波器功能，双击该模块，可以打开示波器。在这个例程中，示波器中显示的是 Indoor vs. Outdoor Temp(室内与室外温度)和 Heat Cost(加热费用)三条曲线。

为了仿真这个模型系统，首先需要设置仿真参数，这里利用演示模型中已设置好的仿真参数进行仿真。选择 **Simulation** 菜单下的 **Start** 命令，或者单击 Simulink 工具栏上的“开

始”按钮，系统开始按照模型中设置的参数进行仿真，仿真结果曲线将显示在示波器中。当打开加热器时，系统会自动计算加热所需要的费用，并将加热费用(Heat Cost(\$))曲线在示波器中显示出来，而室内温度(Indoor Temp)也同时显示在示波器中。若要停止仿真，可选择 **Simulation** 菜单下的 **Stop** 命令，或者单击 Simulink 工具栏上的“停止”按钮。仿真结束后，选择 **File** 菜单下的 **Close** 命令关闭模型。图 1-3 是显示在示波器中的房屋热力学系统模型仿真结果曲线。

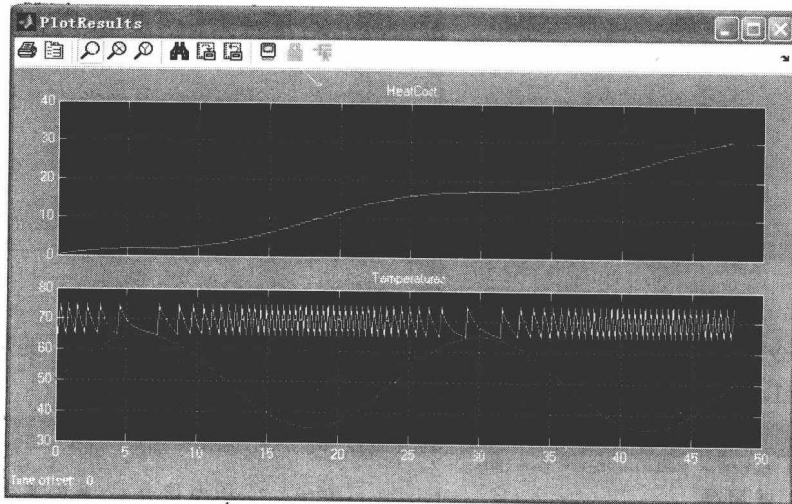


图 1-3

### 1.2.2 房屋热力学系统模型说明

演示程序使用 Simulink 模块建立了简单的房屋热力学系统模型，该模型使用 Simulink 中子系统模型的概念来简化模型图，并创建了可重用系统。

Simulink 中的子系统是一组由 Subsystem(子系统)模块表示的模块组。房屋热力学系统模型包括 5 个子系统：Thermostat(恒温器)子系统、House(房屋)子系统、Heater(加热器子系统)、Fahrenheit to Celsius(将华氏温度转换为摄氏温度)子系统和 Celsius to Fahrenheit(将摄氏温度转换为华氏温度)子系统。

模型最前端的“Set Point”模块是常值模块，它设置了屋内的恒温值，这里给出的缺省值是 70 华氏度，经过计算后可转换为摄氏度。

图 1-4 显示的是恒温器子系统模型，双击模型中的“Thermostat”模块，可打开该子系统。模型中的恒温器(Thermostat)系统设置为 70 华氏度，这个温度受户外温度的影响，并按照幅值为 15 华氏度、基值温度为 50 华氏度的正弦波变化，这个模型模拟了每天的温度波动。该子系统由一个继电器模块组成，该模块将模块输入与阈值相比较，并输出指定的“打开”值和“关闭”值，它实际上控制了加热器系统的打开和关闭时间。

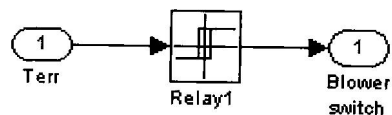


图 1-4

图 1-5 显示的是加热器子系统模型，双击模型中的“Heater”模块，可打开该子系统。

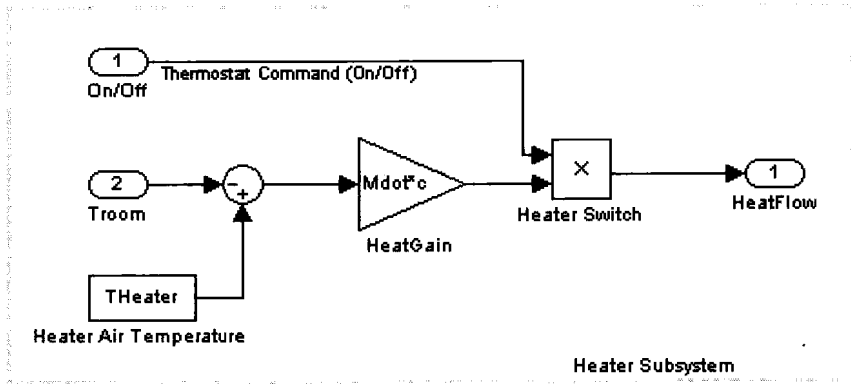


图 1-5

加热器子系统是一个常值空气流速子系统，子系统中的  $Mdot$  值在 `sldemo_househeat_data.m` 文件中设置，它表示空气流速， $Mdot = 1 \text{ kg/s} = 3600 \text{ kg/h}$ 。该子系统的打开和关闭由其输入端的恒温器子系统的输出信号进行控制。当加热器打开时，它以常值的空气流动速率  $Mdot$  吹进温度为  $T_{heater}$  的热空气，缺省时， $T_{heater}$  等于 50 摄氏度，即 122 华氏度。加热器子系统的热流速公式如下：

$$\frac{dQ}{dt} = (T_{heater} - T_{room}) \cdot Mdot \cdot C$$

其中：  $\frac{dQ}{dt}$  ——从加热器到房屋的热流速；

$C$  ——常压下的空气热容量；

$Mdot$  ——通过加热器的空气质量流速(kg/h)；

$T_{heater}$  ——加热器的热空气温度；

$T_{room}$  ——房屋当前的空气温度。

图 1-6 显示的是房屋子系统模型，双击模型中的“House”模块，可打开该子系统。内部温度和外部温度均传送到该子系统，并由该子系统经过转换后更新和输出内部温度。房屋子系统用来计算房间的温度变动，它考虑了加热器的热流和环境中的热量损失。热量损失及温度的时间导数方程分别如下：

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{losses} = \frac{T_{room} - T_{out}}{R_{eq}}$$

$$\frac{dT_{room}}{dt} = \frac{1}{M_{air} \cdot C} \cdot \left( \frac{dQ_{heater}}{dt} - \frac{dQ_{losses}}{dt} \right)$$

其中：  $M_{air}$  ——房内的空气质量；

$R_{eq}$  ——房屋的等效热电阻。



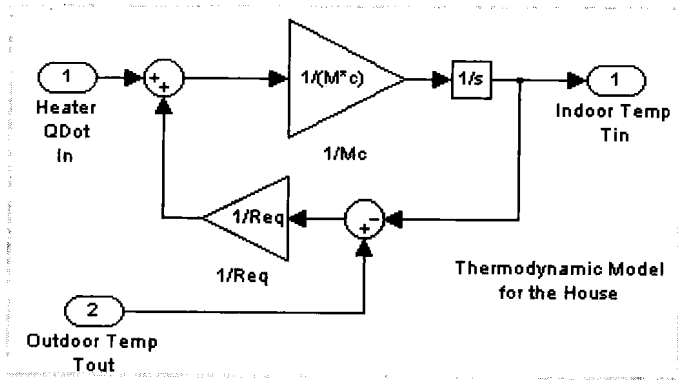


图 1-6

图 1-7 显示的是温度转换子系统，双击 Fahrenheit to Celsius 模块，可打开该子系统。该子系统将外部温度和内部温度由华氏温度转换到摄氏温度，转换公式为  $C=5/9*(F-32)$ ，其中，F 为华氏温度，C 为摄氏温度。

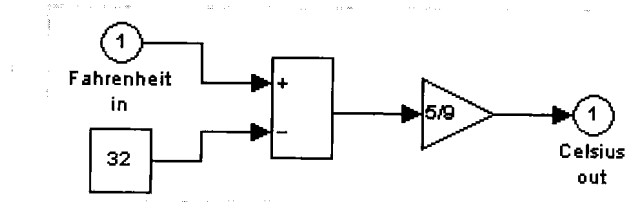


图 1-7

房屋热力学系统是一个很典型的系统，它包括了模型创建过程中通常需要完成的工作，主要有：

- (1) 运行模型仿真时需要指定仿真参数，并利用 **Start** 命令开始仿真。
- (2) 用户可以把一组相关的模块组包含在一个模块中，这个模块称为子系统模块。
- (3) 在 sldemo\_househeat 模型中，所有的子系统都利用封装特性创建了自定义图标，用户也可以利用封装特性为模块创建自定义的图标，并设计模块对话框。
- (4) Scope 模块与实际的示波器模块一样可以显示图形输出。

读者可以试一试下面的几种方法，在示波器中察看模型的不同参数设置是如何影响响应曲线的。

- 每个 Scope 模块可以设置多个信号显示窗口，用户可以控制每个窗口中显示的信号数目，并设置显示的信号范围，如果需要，用户也可以放大显示信号曲线。在每个信号显示区域内，水平轴代表的是时间值，垂直轴代表的是信号值。

- 标有 Set Point(在模型的左上角)的 Constant(常值)模块用来设置所希望的温度值，打开该模块，并将温度值重新设置为 80 度，看看室内温度和加热费用是如何变化的。也可以调整室外温度(Arg Outdoor Temp 模块)，看看它对仿真结果有何影响。

- 打开标有 Daily Temp Variation(每日温度变化)的 Sine Wave(正弦波)模块，改变 Amplitude(幅值)参数，调整每日的温度变化值，观察输出曲线的变化。