

MATLAB / Simulink System Simulation

## MATLAB/Simulink

## 系统仿真

李献 骆志伟 于晋臣◎编著

Li Xian Luo Zhiwei Yu Jinchun

**资深作者编著，图书质量更有保证**

MATLAB资深工程师执笔，系统总结了智能算法的实战经验

**提供配套源码，便于读者动手实践**

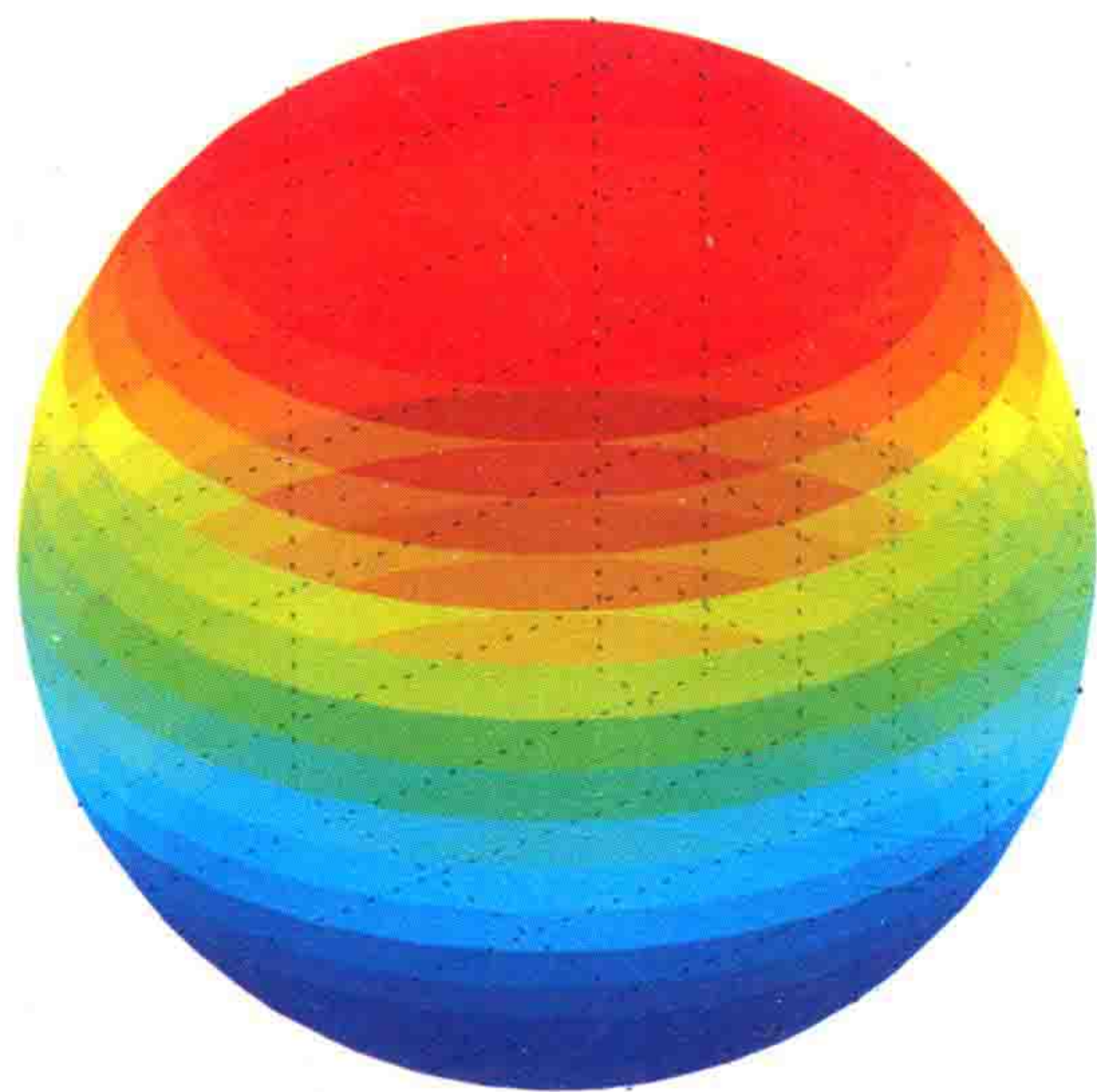
理论联系实际，本书提供源代码下载，方便读者学习使用

**内含丰富实例，利于读者二次开发**

提供了几十个系统仿真的典型实例，读者可以据此二次开发

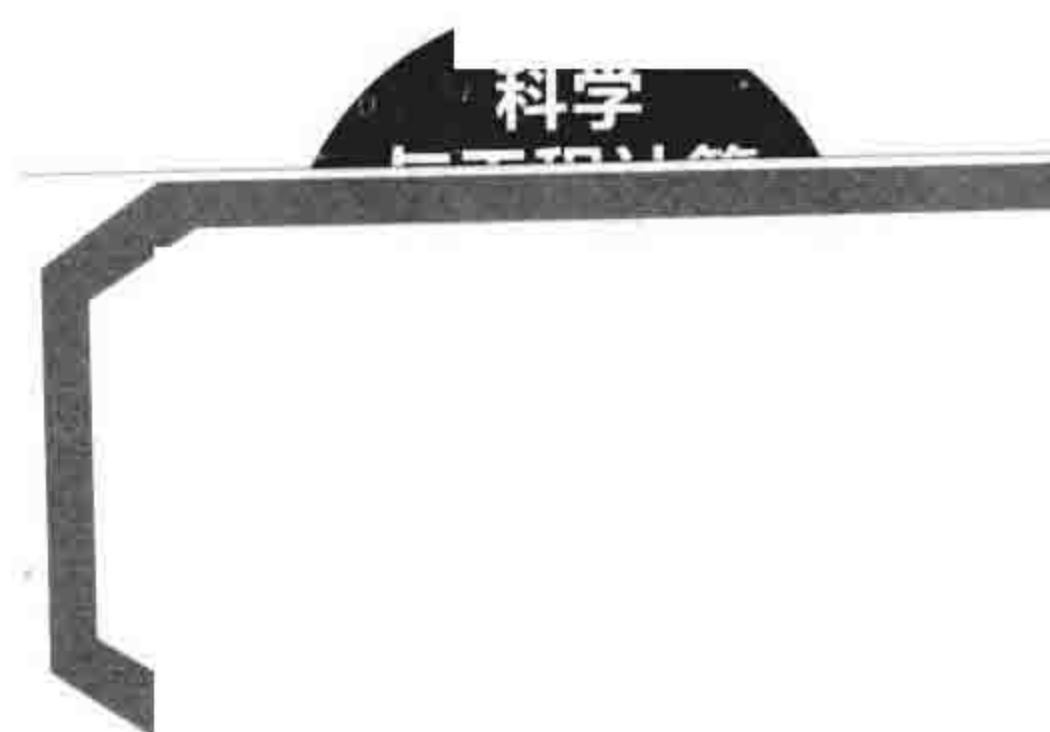
**提供配套课件，便于教师备课使用**

配套提供了完整的教学课件资料，便于广大教师备课使用

源代码  
教学课件

清华大学出版社



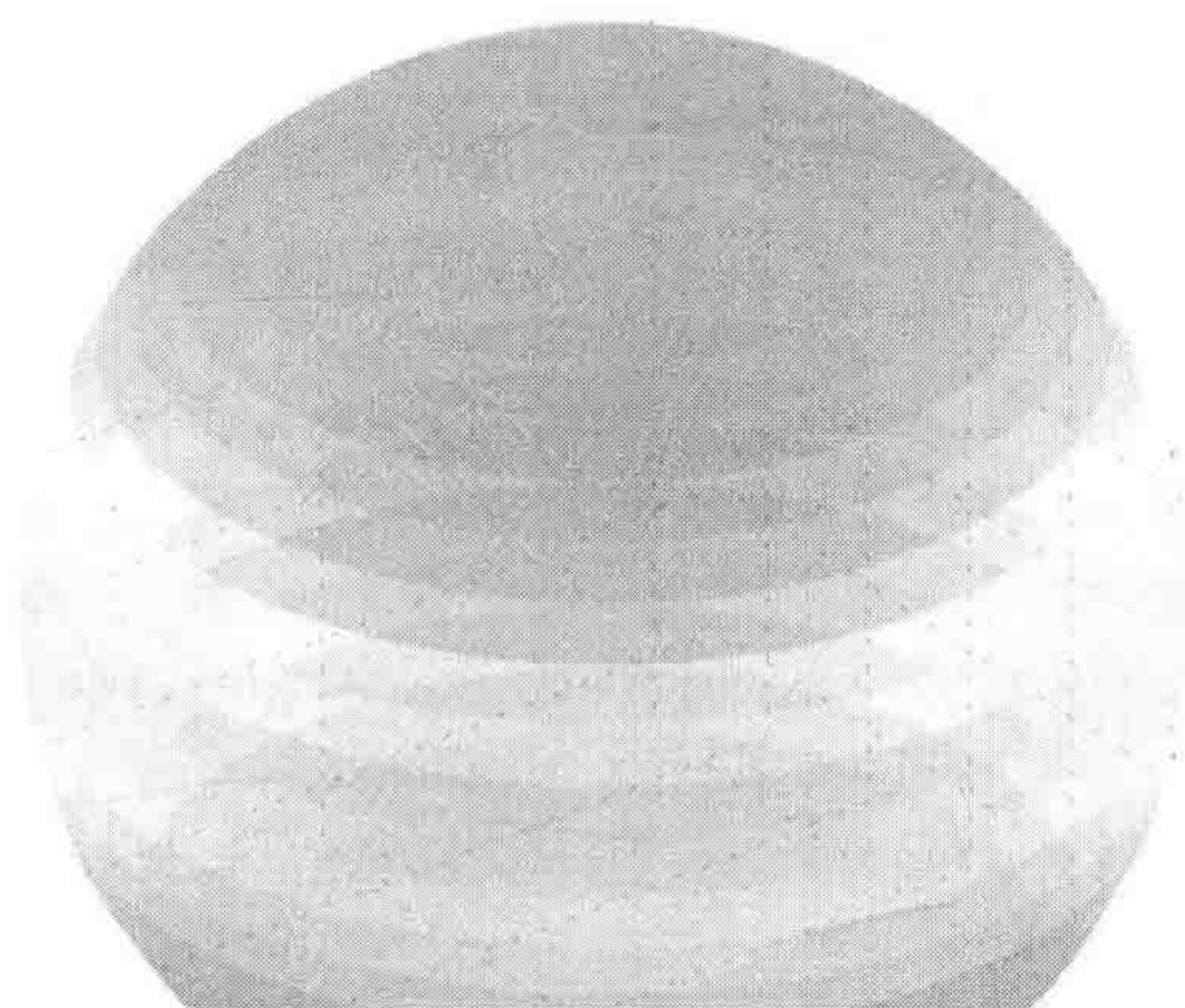


MATLAB/Simulink System Simulation

# MATLAB/Simulink 系统仿真

李献 骆志伟 于晋臣◎编著

Li Xian Luo Zhiwei Yu Jinchun



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书在 MATLAB 2016a 的基础上由浅入深地讲解了 MATLAB/Simulink 软件的知识,内容涉及面广、涵盖了用户需要使用的各种功能。本书编排合理,自始至终采用实例描述;内容完整且各章相对独立,是一本极具参考价值的 MATLAB/Simulink 参考书。

本书分为三大部分共 16 章。第一部分主要介绍了 MATLAB 基础知识、Simulink 仿真入门、Simulink 模型建立与仿真以及 Simulink 常用命令库等;第二部分主要介绍 S-Function 的应用、控制系统仿真和 PID 控制仿真等;第三部分则涉及 Simulink 高级应用,包括模糊逻辑控制、电力系统仿真、通信系统仿真、神经网络控制仿真、滑模控制、车辆系统仿真、群智能算法仿真和图像处理仿真等。

本书以工程应用为目标,深入浅出,实例引导,讲解翔实,适合作为理工科高等院校本科生和研究生的教学用书,也可作为广大科研工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

MATLAB/Simulink 系统仿真/李献,骆志伟,于晋臣编著. —北京:清华大学出版社,2017

(科学与工程计算技术丛书)

ISBN 978-7-302-46740-3

I. ①M… II. ①李… ②骆… ③于… III. ①自动控制系统—系统仿真—Matlab 软件  
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 048628 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:梁毅

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:35.25

字 数:851千字

版 次:2017年9月第1版

印 次:2017年9月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:89.00元

产品编号:072495-01

## 作者简介

---

**李献** 毕业于中国科学院研究生院，博士学位，硕士毕业于华中科技大学。毕业后留在中科院电工研究所应用超导重点实验室工作。主要从事电磁推进、脉冲强磁场以及脉冲功率电源的相关研究工作。在国内外期刊发表论文多篇，出版多部畅销图书。



## 科学与工程计算技术丛书

---

MATLAB 编程指南——计算、编程、仿真、  
算法及应用

MATLAB/Simulink系统仿真

MATLAB GUI程序设计

MATLAB智能算法

MATLAB数学建模

MATLAB科学计算

MATLAB信号处理

MATLAB图像处理

MATLAB优化算法

致力于加快工程技术和科学研究的步伐——这句话总结了 MathWorks 坚持超过三十年的使命。

在这期间, MathWorks 有幸见证了工程师和科学家使用 MATLAB 和 Simulink 在多个应用领域中的无数变革和突破: 汽车行业的电气化和不断提高的自动化; 日益精确的气象建模和预测; 航空航天领域持续提高的性能和安全指标; 由神经学家破解的大脑和身体奥秘; 无线通信技术的普及; 电力网络的可靠性等等。

与此同时, MATLAB 和 Simulink 也帮助了无数大学生在工程技术和科学研究课程里学习关键的技术理念并应用于实际问题中, 培养他们成为栋梁之才, 更好地投入科研、教学以及工业应用中, 指引他们致力于学习、探索先进的技术, 融合并应用于创新实践中。

如今, 工程技术和科研创新的步伐令人惊叹。创新进程以大量的数据为驱动, 结合相应的计算硬件和用于提取信息的机器学习算法。软件和算法几乎无处不在——从孩子的玩具到家用设备, 从机器人和制造体系到每一种运输方式——让这些系统更具功能性、灵活性、自主性。最重要的是, 工程师和科学家推动了这些进程, 他们洞悉问题, 创造技术, 设计革新系统。

为了支持创新的步伐, MATLAB 发展成为一个广泛而统一的计算技术平台, 将成熟的技术方法(比如控制设计和信号处理)融入令人激动的新兴领域, 例如深度学习、机器人、物联网开发等。对于现在的智能连接系统, Simulink 平台可以让您实现模拟系统, 优化设计, 并自动生成嵌入式代码。

“科学与工程计算技术丛书”系列主题反映了 MATLAB 和 Simulink 汇集的领域——大规模编程、机器学习、科学计算、机器人等。我们高兴地看到“科学与工程计算技术丛书”支持 MathWorks 一直以来追求的目标: 助您加速工程技术和科学研究。

期待着您的创新!

Jim Tung  
MathWorks Fellow

# PREFACE

**To Accelerate the Pace of Engineering and Science.** These eight words have summarized the MathWorks mission for over 30 years.

In that time, it has been an honor and a humbling experience to see engineers and scientists using MATLAB and Simulink to create transformational breakthroughs in an amazingly diverse range of applications: the electrification and increasing autonomy of automobiles; the dramatically more accurate models and forecasts of our weather and climates; the increased performance and safety of aircraft; the insights from neuroscientists about how our brains and bodies work; the pervasiveness of wireless communications; the reliability of power grids; and much more.

At the same time, MATLAB and Simulink have helped countless students in engineering and science courses to learn key technical concepts and apply them to real-world problems, preparing them better for roles in research, teaching, and industry. They are also equipped to become lifelong learners, exploring for new techniques, combining them, and applying them in novel ways.

Today, the pace of innovation in engineering and science is astonishing. That pace is fueled by huge volumes of data, matched with computing hardware and machine-learning algorithms for extracting information from it. It is embodied by software and algorithms in almost every type of system—from children's toys to household appliances to robots and manufacturing systems to almost every form of transportation—making those systems more functional, flexible, and autonomous. Most important, that pace is driven by the engineers and scientists who gain the insights, create the technologies, and design the innovative systems.

To support today's pace of innovation, MATLAB has evolved into a broad and unifying technical computing platform, spanning well-established methods, such as control design and signal processing, with exciting newer areas, such as deep learning, robotics, and IoT development. For today's smart connected systems, Simulink is the platform that enables you to simulate those systems, optimize the design, and automatically generate the embedded code.

The topics in this book series reflect the broad set of areas that MATLAB and Simulink bring together: large-scale programming, machine learning, scientific

# PREFACE

---

computing, robotics, and more. We are delighted to collaborate on this series, in support of our ongoing goal: to enable you to accelerate the pace of your engineering and scientific work.

I look forward to the innovations that you will create!

Jim Tung  
MathWorks Fellow



MATLAB/Simulink 可用于动态系统和嵌入式系统的多领域仿真,是基于模型的设计工具。Simulink 是 MATLAB 中的一种可视化仿真工具,它基于 MATLAB 的框图设计环境,是实现动态系统建模、仿真和分析的一个软件包,被广泛应用于线性系统、非线性系统、数字控制及数字信号处理的建模和仿真中。

对于各种时变系统,包括通信、控制、信号处理、视频处理和图像处理系统,Simulink 提供了交互式图形化环境和可定制的模块库来对其进行设计、仿真、执行和测试。Simulink 可以用连续采样时间、离散采样时间或混合的采样时间进行建模,它也支持多速率系统,即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框图的图形用户接口(GUI),创建过程只需单击和拖动鼠标操作就能完成,它提供了一种快捷、直接明了的方式,使得用户可以立即看到系统的仿真结果。

## 1. 本书特点

(1) 由浅入深、循序渐进:本书以 MATLAB 爱好者为对象,首先从 MATLAB 使用基础讲起,再辅以 MATLAB/Simulink 在工程中的应用案例帮助读者尽快掌握 MATLAB/Simulink 进行工程应用分析的技能。

(2) 步骤详尽、内容新颖:本书结合作者多年 MATLAB/Simulink 使用经验与实际工程应用案例,将 MATLAB/Simulink 软件的使用方法与技巧详细地讲解给读者。本书在讲解过程中步骤详尽、内容新颖,并辅以相应的图片,使读者在阅读时一目了然,从而快速掌握书中的内容。

(3) 实例典型、轻松易学:通过实际工程应用案例的具体操作,读者可以更好地掌握 MATLAB/Simulink 的使用方法。本书通过综合应用案例,透彻详尽地讲解了 MATLAB/Simulink 在各方面的应用。

## 2. 本书内容

本书基于 MATLAB 2016a 版本,讲解了 MATLAB/Simulink 的基础知识和核心内容。本书主要围绕 MATLAB/Simulink 在工程问题中的应用进行仿真运算,内容分为三部分共 16 章。第一部分主要介绍了 MATLAB 及 Simulink 的基本操作知识;第二部分介绍了 Simulink 的控制系统仿真应用;第三部分则讲解 Simulink 的高级应用。

第一部分为 MATLAB 及 Simulink 的基本应用,包括第 1 章到第 4 章,内容涵盖矩阵的应用、MATLAB 计算基础、程序设计基础、绘图功能、微积分应用、非线性方程求解、Simulink 基本操作、Simulink 运行仿真参数设置、Simulink 子系统封装展开以及 Simulink 模块库分析等。

第二部分为 Simulink 控制系统的仿真部分,包括第 5 章到第 7 章,主要介绍采用

# 前言

S-Function 进行控制系统设计,采用 S 函数进行 Simulink 模块设计,控制系统计算机仿真的算法分析、控制系统数字仿真的实现和控制系统计算机仿真等。

第三部分为 Simulink 高级系统仿真应用,包括第 8 章到第 16 章,主要分析了模糊逻辑控制器的设计、电力系统仿真设计、通信系统仿真设计、Simulink 神经网络应用、滑模控制、车辆系统仿真和群智能算法控制系统仿真等。

本书附录部分介绍 Simulink 常用命令库,基本涵盖所有常用的 Simulink 命令函数。

## 3. 读者对象

本书适合于 MATLAB/Simulink 初学者,也适合想要研究算法和提高工程应用能力的读者,本书面向的读者群体包括:

- ★ 广大科研工作人员
- ★ 初学 MATLAB/Simulink 的技术人员
- ★ 大中专院校的教师和在校生
- ★ 相关培训机构的教师和学员
- ★ 参加工作实习的“菜鸟”
- ★ MATLAB/Simulink 爱好者
- ★ 初中级 MATLAB/Simulink 从业人员

## 4. 读者服务

为了方便解决本书的疑难问题,读者朋友在学习过程中遇到任何与本书有关的技术问题,都可以发邮件到邮箱 [caxart@126.com](mailto:caxart@126.com),或者访问博客 <http://blog.sina.com.cn/caxart>,编者会尽快给予解答。

另外本书所涉及的资料(程序代码)已经上传到上面提到的博客及清华大学出版社本书页面中,读者可以下载。

## 5. 本书作者

本书主要由李献、骆志伟和于晋臣编著。此外,付文利、王广、张岩、温正、林晓阳、任艳芳、唐家鹏、孙国强和高飞等也参与了本书部分内容的编写工作。

虽然作者在本书的编写过程中力求叙述准确、完善,但由于水平有限,书中欠妥之处在所难免,希望读者能够及时指出,以促进本书质量的提高。

最后希望本书能够为读者的学习和工作提供帮助!

编者

第 1 章	MATLAB 基础知识 .....	1
1.1	MATLAB 简介 .....	1
1.2	MATLAB 的通用命令 .....	3
1.2.1	MATLAB 菜单说明 .....	3
1.2.2	MATLAB 路径设置 .....	4
1.2.3	MATLAB 系统常量说明 .....	5
1.2.4	MATLAB 程序注解符说明 .....	6
1.3	MATLAB 的计算基础 .....	7
1.3.1	MATLAB 的预定义变量 .....	7
1.3.2	常用运算和基本数学函数 .....	9
1.3.3	数值的输出格式 .....	14
1.4	MATLAB 程序设计基础 .....	18
1.4.1	MATLAB 基本程序设计 .....	19
1.4.2	MATLAB 程序控制语句的运用 .....	25
1.5	MATLAB 的绘图功能 .....	27
1.5.1	离散数据图形绘制 .....	27
1.5.2	函数图形绘制 .....	28
1.5.3	网格图绘制 .....	29
1.5.4	曲面图的绘制 .....	31
1.5.5	特殊图形绘制 .....	32
1.6	微积分问题的 MATLAB 求解 .....	33
1.6.1	符号微积分 .....	33
1.6.2	微分方程的数值解 .....	36
1.6.3	龙贝格积分法微积分运算 .....	37
1.6.4	有限差分方法求边值问题 .....	39
1.6.5	样条函数求积分 .....	43
1.6.6	常微分方程符号解 .....	43
1.7	非线性方程与线性规划问题求解 .....	44
1.7.1	非线性方程组求解 .....	44
1.7.2	无约束最优化问题求解 .....	46
1.7.3	线性规划问题 .....	47
1.7.4	二次型规划问题 .....	48
1.8	本章小结 .....	50

# 目录

第 2 章 Simulink 仿真入门 .....	51
2.1 Simulink 基本操作 .....	51
2.1.1 运行 Simulink .....	52
2.1.2 Simulink 模块库 .....	53
2.1.3 Simulink 模块的操作 .....	59
2.2 运行仿真及参数设置简介 .....	62
2.2.1 模型的创建 .....	62
2.2.2 模块的连接与简单处理 .....	65
2.2.3 仿真参数设置简介 .....	66
2.3 子系统及其封装 .....	68
2.3.1 创建子系统 .....	68
2.3.2 使能子系统 .....	69
2.3.3 触发子系统 .....	71
2.3.4 使能触发子系统 .....	72
2.3.5 封装子系统 .....	74
2.4 用 MATLAB 命令创建和运行 Simulink 模型 .....	80
2.4.1 创建 Simulink 模型与文件 .....	80
2.4.2 添加模块和信号线 .....	81
2.4.3 设置模型和模块属性 .....	82
2.4.4 仿真 .....	84
2.5 本章小结 .....	85
第 3 章 Simulink 模型的建立与仿真 .....	86
3.1 Simulink 模块库简介 .....	86
3.2 信号源模块组 .....	86
3.2.1 Clock 模块 .....	86
3.2.2 Digital Clock 模块 .....	87
3.2.3 Constant 模块 .....	88
3.2.4 Band-Limited White Noise 模块 .....	89
3.2.5 Chirp Signal 模块 .....	90
3.2.6 Sine Wave 模块 .....	92
3.2.7 Pulse Generator 模块 .....	93
3.2.8 Random Number 模块 .....	94
3.2.9 Step 模块 .....	95
3.2.10 Uniform Random Number 模块 .....	96

3.3	连续模块组 .....	97
3.3.1	Derivative 模块 .....	97
3.3.2	Integrator 模块 .....	98
3.3.3	Transfer Fcn 模块 .....	99
3.3.4	Transport Delay 模块 .....	101
3.3.5	Zero-Pole 模块 .....	102
3.3.6	State-Space 模块 .....	103
3.4	离散模块组 .....	105
3.4.1	Discrete Transfer Fcn 模块 .....	105
3.4.2	Discrete Filter 模块 .....	106
3.4.3	Unit Delay 模块 .....	107
3.4.4	Memory 模块 .....	108
3.4.5	Discrete Zero-Pole 模块 .....	109
3.4.6	Discrete State-Space 模块 .....	110
3.4.7	Zero-Order Hold 模块 .....	111
3.5	查表模块组 .....	113
3.5.1	1-D Lookup Table 模块 .....	113
3.5.2	2-D Lookup Table 模块 .....	114
3.6	用户自定义函数模块组 .....	115
3.6.1	Fcn 模块 .....	115
3.6.2	MATLAB Fcn 模块 .....	116
3.6.3	S-Function 模块 .....	117
3.7	数学运算模块组 .....	120
3.7.1	Abs 模块 .....	120
3.7.2	Add 模块 .....	121
3.7.3	Divide 模块 .....	122
3.7.4	Dot Product 模块 .....	123
3.7.5	Gain 模块 .....	124
3.7.6	Complex to Magnitude-Angle 模块 .....	125
3.7.7	Magnitude-Angle to Complex 模块 .....	126
3.8	非线性模块组 .....	127
3.8.1	Backlash 模块 .....	127
3.8.2	Coulomb & Viscous Friction 模块 .....	128
3.8.3	Dead Zone 模块 .....	129
3.8.4	Quantizer 模块 .....	131

# 目录

3.8.5	Rate Limiter 模块 .....	132
3.8.6	Saturation 模块 .....	133
3.9	信号与系统模块组 .....	134
3.9.1	Bus Selector 模块 .....	134
3.9.2	Bus Creator 模块 .....	135
3.9.3	Mux 模块 .....	136
3.9.4	Demux 模块 .....	137
3.9.5	Data Store Memory 模块 .....	138
3.9.6	Data Store Read 模块 .....	139
3.9.7	Data Store Write 模块 .....	141
3.9.8	Enable 模块 .....	142
3.9.9	Ground 模块 .....	143
3.10	本章小结 .....	144
第 4 章	Simulink 常用命令库分析 .....	145
4.1	Simulink 中常用的模块库 .....	145
4.2	Simulink 命令代码 .....	146
4.2.1	Simulink 系统路径 .....	147
4.2.2	获取 Simulink 模型参数值 .....	147
4.3	Simulink 系统创建命令 .....	150
4.3.1	simulink 命令 .....	150
4.3.2	simulink3 命令 .....	150
4.3.3	find_system 命令 .....	151
4.3.4	new_system 命令 .....	153
4.3.5	open_system 命令 .....	154
4.3.6	save_system 命令 .....	154
4.3.7	bdclose 命令 .....	155
4.4	Simulink 模型模块操作命令 .....	156
4.4.1	add_block 命令 .....	156
4.4.2	delete_block 命令 .....	157
4.4.3	add_line 命令 .....	157
4.4.4	delete_line 命令 .....	158
4.4.5	replace_block 命令 .....	159
4.5	获取 Simulink 文件路径 .....	161
4.5.1	gcb 命令 .....	161

4.5.2	gcbh 命令 .....	161
4.5.3	gcs 命令 .....	162
4.5.4	bdroot 命令 .....	162
4.6	获取 Simulink 模型参数命令 .....	163
4.6.1	get_param 命令 .....	163
4.6.2	set_param 命令 .....	165
4.7	Simulink 代码建模 .....	166
4.8	本章小结 .....	169
<b>第 5 章</b>	<b>基于 Simulink 的 S 函数建模 .....</b>	<b>170</b>
5.1	Simulink S 函数仿真应用 .....	170
5.1.1	Simulink S 函数仿真过程 .....	170
5.1.2	S 函数的回调方法 .....	171
5.2	M-file S 函数应用 .....	171
5.3	M-file S 函数模板 .....	178
5.3.1	S 函数工作方式 .....	182
5.3.2	S 函数仿真过程 .....	183
5.3.3	S 函数的编写 .....	184
5.3.4	M 文件 S 函数的模块化 .....	185
5.4	M-file S 函数实现 .....	186
5.5	本章小结 .....	191
<b>第 6 章</b>	<b>控制系统 Simulink 仿真 .....</b>	<b>192</b>
6.1	控制系统频域分析 .....	192
6.1.1	频率特性的定义 .....	193
6.1.2	频率特性和传递函数的关系 .....	194
6.1.3	频率特性的图形表示方法 .....	195
6.2	幅相频率特性 .....	198
6.2.1	比例环节 .....	199
6.2.2	微分环节 .....	200
6.2.3	积分环节 .....	200
6.2.4	惯性环节 .....	203
6.2.5	一阶复合微分环节 .....	206
6.2.6	二阶振荡环节 .....	207
6.2.7	二阶复合微分环节 .....	213

# 目录

6.2.8	延迟环节	215
6.2.9	开环系统的幅相特性曲线	216
6.3	对数频率特性	220
6.3.1	比例环节	220
6.3.2	微分环节	220
6.3.3	积分环节	221
6.3.4	惯性环节	221
6.3.5	一阶复合微分环节	222
6.3.6	二阶振荡环节	222
6.3.7	二阶复合微分环节	224
6.3.8	延迟环节	225
6.4	开环系统的 Bode 图	225
6.5	最小相角系统和非最小相角系统	228
6.6	奈奎斯特频域稳定判据	229
6.7	频域对数稳定判据	234
6.8	稳定裕度	236
6.8.1	稳定裕度的定义	236
6.8.2	稳定裕度的计算	237
6.9	本章小结	239
<b>第 7 章</b>	<b>基于 PID 的 Simulink 控制系统仿真</b>	<b>240</b>
7.1	PID 控制原理	240
7.2	基于 PID 的控制仿真	242
7.3	基于 S 函数的 PID 控制系统仿真	246
7.4	基于 PID 的倒立摆小车控制仿真	252
7.5	本章小结	255
<b>第 8 章</b>	<b>模糊逻辑控制仿真</b>	<b>256</b>
8.1	模糊逻辑概述	256
8.1.1	高斯型隶属函数	257
8.1.2	三角形隶属函数	258
8.2	模糊逻辑控制箱图形界面	260
8.2.1	基本 FIS 编辑器	260
8.2.2	隶属函数编辑器	262
8.2.3	绘制 FIS	263



8.2.4	设置模糊系统属性 .....	264
8.2.5	规则编辑器和语法编辑器 .....	265
8.2.6	规则观察器和模糊推理框图 .....	266
8.3	模糊聚类分析 .....	267
8.3.1	FIS 曲面 .....	267
8.3.2	FIS 结构 .....	268
8.3.3	模糊均值聚类 .....	269
8.3.4	模糊聚类工具箱 .....	270
8.4	模糊与 PID 控制器仿真设计 .....	273
8.4.1	模糊逻辑工具箱 .....	273
8.4.2	PID 控制 .....	275
8.4.3	模糊控制器设计 .....	277
8.4.4	模糊与 PID 控制仿真 .....	280
8.5	本章小结 .....	283
<b>第 9 章</b>	<b>Simulink 在电力系统中的应用 .....</b>	<b>284</b>
9.1	同步发电机原理分析 .....	284
9.2	简化同步电机模块使用 .....	285
9.3	同步电机模块使用 .....	289
9.4	负荷模型 .....	297
9.4.1	静态负荷模块 .....	298
9.4.2	三相动态负荷模块 .....	298
9.5	异步电动机模块 .....	299
9.6	直流电机模块 .....	304
9.7	本章小结 .....	308
<b>第 10 章</b>	<b>电力系统稳定性分析 .....</b>	<b>309</b>
10.1	Powergui 模块 .....	309
10.1.1	仿真类型 .....	310
10.1.2	分析工具 .....	311
10.2	二极管模块 .....	320
10.3	晶闸管模块 .....	323
10.4	电力系统稳态仿真 .....	326
10.4.1	连续系统仿真 .....	327
10.4.2	离散系统仿真 .....	328