

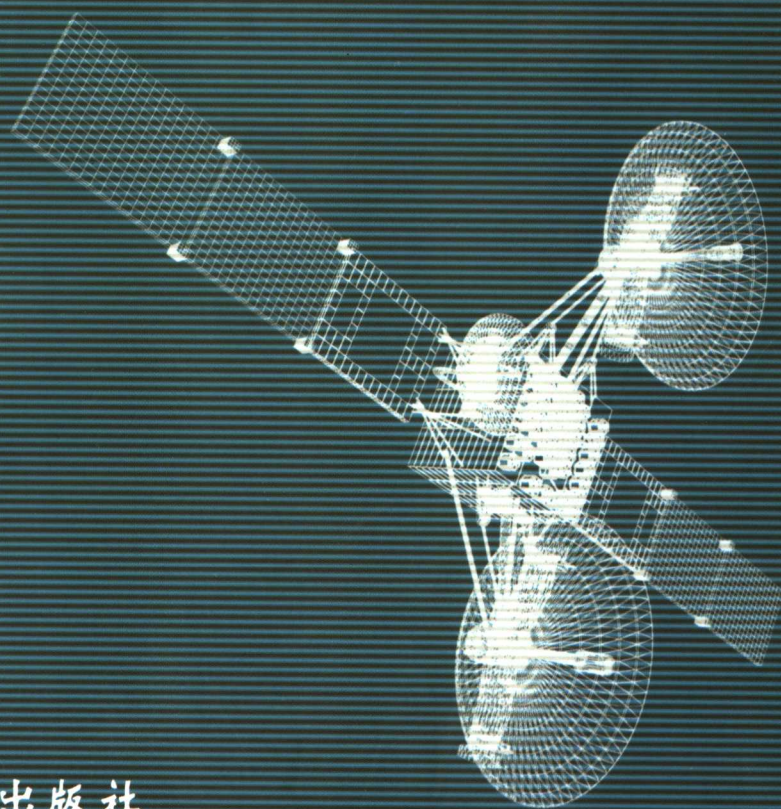
航空宇航科学与技术



国防
科技工委
『十五』
规划
教材

飞行器系统仿真与CAD

● 杨淦 耿云海 杨旭 李立涛 编著



哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

西北工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

国防科工委“十五”规划教材
航空宇航科学与技术



责任编辑：徐 雁
费 佳 明
邱 明 霞
书籍装帧：彩多设计

ISBN 7-5603-2229-8



9 787560 322292 >

ISBN 7-5603-2229-8
V·17 定价：39.80 元



国防科工委“十五”规划教材·航空宇航科学与技术

飞行器系统仿真与 CAD

杨涤 耿云海 杨旭 李立涛 编著

哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

西北工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书全面、系统地介绍了 MATLAB 系列软件、实时系统开发环境及其在航空航天领域的应用。内容主要包括四部分:工程计算与控制系统 CAD,系统建模、仿真及功能函数,实时系统开发环境及应用,两种典型实时目标及应用。本书以满足从系统方案设计到技术实现的不同研究阶段设计需求为目的,重点突出了 MATLAB 在系统技术实现、系统性能测试等实时操作方面的功能与应用。本书可供高等学校航空航天类和其他工学类专业研究生和本科生选为教材,同时也可作为相关科技人员的主要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

飞行器系统仿真与 CAD/杨涤编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2006.5
ISBN 7-5603-2229-8

I. 飞… II. 杨… III. 飞行器-系统仿真-软件包, MATLAB IV. V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 117737 号

飞行器系统仿真与 CAD

编 著 杨涤 耿云海 杨旭 李立涛
责任编辑 徐雁 费佳明 邱明霞
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787×960 1/16 印张 30.75 字数 666 千字
版 次 2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-2229-8/V·17
印 数 1~1 000
定 价 39.80 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任:张华祝

副主任:王泽山 陈懋章 屠森林

编 委:王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯
乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春
杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光禡
陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祎 金鸿章
贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山
郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其它技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技



新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委组织编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入二十一世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,



提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前 言

本书主要介绍美国 MathWorks 公司开发的 MATLAB 系列软件、实时系统开发环境及其在航空航天领域的应用。MATLAB 是目前世界各国科学研究与工程设计领域普遍采用的设计软件。近年来,国内各高校和研究部门越来越重视对 MATLAB 的学习和应用,有关 MATLAB 软件的教材和书籍已被普遍用于国内大学,对工科大学本科生和研究生的培养起到了重要作用。

目前,国内有关介绍 MATLAB 及其工具箱的书籍与教材,多数是重点介绍 MATLAB 软件在系统概念设计或方案设计阶段的功能与应用,如工程计算、系统设计与分析、系统建模与数学仿真等方面的功用。很少有反映 MATLAB 软件在系统设计技术实现阶段的功能和应用,如实现系统的快速原型化、系统半实物仿真及系统或部件的性能测试等方面的功用。

事实上,MATLAB 作为当今世界科学研究与工程领域广泛使用的开发工具之一,其主要贡献是为设计者提供了实现系统 CAD/系统测试/系统仿真(实时与非实时)一体化的先进的系统开发与设计环境,它给设计者的不只是一个新的 CAD 与仿真工具,更重要的是在该工具上可方便实施的先进的系统设计技术。

任何一个复杂的系统(如复杂的控制或信号处理系统)的设计研制都需要经过系统建模、设计、分析、数学仿真、系统或部件性能测试、系统半实物仿真或全实物仿真等工作阶段及不同阶段间的反复修改。传统设计工作是在不同的设计环境与软件支持下完成的,花费大、周期长、有效性低。现代设计技术,是将上述研究工作放在一个统一有效的设计环境(设计平台)中完成的。MATLAB 系列软件及实时系统开发环境,恰恰是实现上述先进系统设计技术的重要支撑平台。该平台使设计者将复杂系统的



方案设计与技术实现在一个平台上完成,允许设计者做到边设计、边分析、边试验,提高了工程设计与科研工作的效率和质量。

本书力求在作者多年应用 MATLAB 软件教学与科研的基础上,较全面地介绍 MATLAB 软件及其实时系统开发平台的功能与应用。可使读者方便、快捷地完成包括系统概念设计、方案设计与技术实现等不同阶段的研究、设计与试验工作。本书注重工程应用,结合作者在航天航空领域的科研与教学,增加了具体工程应用方面的内容,使读者能够借鉴本书的实例,联系自己的工程实际问题,尽快掌握所学的技术和方法。

本书内容共分四部分八章。第 I 部分,主要介绍 MATLAB 基本功能,即工程计算、控制系统 CAD、图形生成及应用;第 II 部分,主要介绍 Simulink 的基本功能,即系统建模与数学仿真及其应用;第 III 部分,主要介绍 RTW(Real-Time Workshop)软件的工作机理及功能,即重点介绍数据采集、系统测试及实时系统仿真等有关的实时系统开发环境及其应用;第 IV 部分,主要介绍由美国和德国两家公司分别推出的实时系统开发平台,即重点介绍 xPC 与 dSPACE 实时目标及其应用。书末附有两个附录,分别为:附录 A 依赖于绝对时间的 Simulink 模块,附录 B 设备驱动程序源代码。

本书经哈尔滨工业大学崔乃刚教授和中国航天科工集团公司常伯俊研究员主审。

在编写过程中,翟坤、朱承元、原劲鹏、耿斌斌、陈新龙、王峰、陈雪芹等博士生也参与了部分编写与校对工作,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,疏漏和不当之处在所难免,恳请读者与专家批评指正。

杨 涤

2005 年 9 月

目 录

第 I 部分 工程计算与控制系统 CAD

第 1 章 工程计算及图形生成	(3)
1.1 序言	(3)
1.2 MATLAB 的安装和基本使用方法	(11)
1.3 MATLAB 在工程计算中的应用	(18)
1.4 MATLAB 程序设计	(34)
1.5 MATLAB 的图形功能	(53)
1.6 MATLAB 与其他编程语言结合	(65)
第 2 章 控制系统 CAD 与应用	(87)
2.1 特点	(87)
2.2 系统建模	(89)
2.3 系统的分析	(94)
2.4 补偿器设计	(97)
2.5 747 喷气式飞机的偏航阻尼器系统设计	(103)

第 II 部分 系统建模、仿真及功能函数

第 3 章 系统建模与仿真	(117)
3.1 前言	(117)
3.2 动态模型的创建	(118)
3.3 模块操作	(152)
3.4 动态系统的 Simulink 仿真	(157)
3.5 仿真结果的分析	(180)
第 4 章 Simulink 功能函数与典型应用	(182)
4.1 S 函数概述	(182)
4.2 M 文件 S 函数	(190)
4.3 C MEX S 函数	(194)
4.4 功能函数	(216)
4.5 应用实例	(230)



第Ⅲ部分 实时系统开发环境及应用

第 5 章 RTW 基础与应用	(253)
5.1 RTW 简介及安装	(253)
5.2 RTW 基础及基本使用方法	(257)
5.3 代码生成及程序创建过程	(275)
5.4 外部模式	(286)
5.5 RTW 的代码格式和程序框架结构	(305)
第 6 章 RTW 目标及其高级应用	(319)
6.1 RTW 目标的使用	(319)
6.2 RTW 高级应用	(354)
6.3 定制自己的实时目标系统	(370)

第Ⅳ部分 两种典型实时目标及应用

第 7 章 xPC 实时目标及应用	(377)
7.1 xPC Target 简介	(377)
7.2 xPC Target 的安装和配置	(379)
7.3 xPC Target 的基本使用方法	(390)
7.4 xPC Target 信号采集和参数调整	(398)
7.5 xPC Target 的高级应用	(404)
7.6 xPC Target 在航空航天领域的应用	(415)
第 8 章 dSPACE 实时目标与应用	(426)
8.1 dSPACE 实时目标功能与组成	(426)
8.2 I/O 设备模块的接入	(432)
8.3 模型的下载	(438)
8.4 ControlDesk 软件工具	(440)
8.5 dSPACE 系统在航天领域中的应用	(449)
附录 A 依赖于绝对时间的 Simulink 模块	(471)
附录 B 设备驱动程序源代码	(473)
参考文献	(477)

第 I 部分

工程计算与控制系统 CAD

第 1 章 工程计算及图形生成

作为 MATLAB 语言的使用开发基础,这里介绍了 MATLAB 的产生背景、主要产品、特点;概述了其安装及使用方法;主要介绍了其在工程计算中的应用,包括数据分析和统计、矩阵和线性代数、稀疏矩阵、多项式和插值、功能函数、微分方程的具体使用方法;对程序语言设计进行了阐述;论述了强大的图形显示功能和图形界面设计功能;对其扩展功能及其接口进行了讨论。

1.1 序言

一、MATLAB 的产生背景及主要产品

MATLAB 诞生于 20 世纪 70 年代,编写者是 Cleve Moler 博士和他的同事。当时,Cleve Moler 博士和他的同事开发了 EISPACK 和 LINPACK 的 FORTRAN 子程序库,这两个程序库主要是求解线性方程的程序库。但是,Cleve Moler 发现学生使用这两个程序库时有困难,主要是接口程序不好写,很费时间。于是 Cleve Moler 自己动手,利用业余时间编写了 EISPACK 和 LINPACK 的接口程序。Cleve Moler 给这个接口程序取名为 MATLAB,意为矩阵(matrix)和实验室(laboratory)的组合。以后几年,MATLAB 作为免费软件在大学里使用,深受大学生的喜爱。

1984 年,Cleve Moler 和 John Little 成立了 MathWorks 公司,正式把 MATLAB 推向市场,并继续进行 MATLAB 的开发。1993 年,MathWorks 公司推出 MATLAB 4.0;1995 年,推出 MATLAB 4.2C 版(For Win 3.x);1997 年,推出 MATLAB 5.0;2000 年 10 月,推出 MATLAB 6.0;2002 年 8 月,推出 MATLAB 6.5;至今已发布了 MATLAB 7.0。每一次版本的推出都使 MATLAB 有了长足的进步,界面越来越友好,内容越来越丰富,功能越来越强大。它的帮助信息采用超文本格式和 PDF 格式,可以很方便地阅读。

MATLAB 的数值计算功能强大,能处理大量的数据,而且效率比较高。MathWorks 公司在此基础上开拓了符号计算、文字处理、可视化建模和实时控制能力,增强了 MATLAB 的市场竞争力,使 MATLAB 成为了市场主流的数值计算软件。

二、MATLAB 产品组

MATLAB 是支持从概念设计、算法开发、建模仿真到实时实现的理想的集成环境。无论是进行科学研究还是产品开发,MATLAB 产品组都是必不可少的工具。



MATLAB 产品组可用来进行:

- * 数据分析;
- * 数值和符号计算;
- * 工程与科学绘图;
- * 控制系统设计;
- * 数字图像信号处理;
- * 财务工程;
- * 建模、仿真、原型开发;
- * 应用开发;
- * 图形用户界面设计。

MATLAB 产品组被广泛地应用于包括信号与图像处理、控制系统设计、通信、系统仿真等诸多领域。开放式的结构使 MATLAB 产品组很容易针对特定的需求进行扩充,从而在不断深化对问题的认识的同时,提高了自身的竞争力。

MATLAB 产品组的一大特点是有众多的面向具体应用的工具箱和仿真块,包含了完整的函数集用来对信号图像处理、控制系统设计、神经网络等特殊应用进行分析和设计。其他的产品延伸了 MATLAB 的能力,包括数据采集、报告生成和依靠 MATLAB 语言编程产生独立的 C/C++ 代码等。

三、MATLAB 的主要产品构成

(1) MATLAB 所有 MathWorks 公司产品的数值分析和图形基础环境。MATLAB 将 2D 和 3D 图形、MATLAB 语言能力集成到一个单一的、易学易用的环境之中。

(2) MATLAB Toolbox 一系列专用的 MATLAB 函数库,解决特定领域的问题。工具箱是开放的、可扩展的,可以查看其中的算法,或开发自己的算法。

(3) MATLAB Compiler 将 MATLAB 语言编写的 M 文件自动转换成 C 或 C++ 文件,支持用户进行独立应用开发。结合 MathWorks 提供的 C/C++ 数学库和图形库,用户可以利用 MATLAB 快速地开发和扩展。

(4) Simulink 结合了框图界面和交互仿真能力的非线性动态系统仿真工具。它以 MATLAB 的核心数学、图形和语言为基础。

(5) Stateflow 与 Simulink 框图模型相结合,描述复杂事件驱动系统的逻辑行为,驱动系统在不同的模式之间进行切换。

(6) Real-Time Workshop 直接从 Simulink 框图自动生成 C 或 Ada 代码,用于系统的快速原型化和硬件在回路中的仿真,整个代码生成可以根据需要完全定制。

(7) Simulink Blockset 专门为特定领域设计的 Simulink 功能块的集合,用户也可以利用已有的模块或自己编写的 C 和 MATLAB 程序建立新的模块。



MATLAB 产品构成如表 1.1 所示。

表 1.1 MATLAB 产品构成

名 称	版 本 号	意 义
MATLAB	Version 6.5	MATLAB 产品
Simulink	Version 5.0	Simulink 系统仿真
Aerospace Blockset	Version 1.0.1	航空航天模块集
CDMA Reference Blockset	Version 1.1	CDMA 参考模块集
Communications Blockset	Version 2.5	通信模块集
Communications Toolbox	Version 2.1	通信工具箱
Control System Toolbox	Version 5.2	控制系统工具箱
Curve Fitting Toolbox	Version 1.1	曲线拟合工具箱
DSP Blockset	Version 5.0	DSP 模块集
Data Acquisition Toolbox	Version 2.2	数据采集工具箱
Database Toolbox	Version 2.2.1	数据库工具箱
Datafeed Toolbox	Version 1.3.1	数据反馈工具箱
Dials & Gauges Blockset	Version 1.1.2	拨号仪表模块集
Embedded Target for Motorola MPC555	Version 1.0.1	MPC555 嵌入目标
Embedded Target for Texas Instruments C6000 DSPs	Version 1.0	Texas C6000 DSP 系列嵌入目标
Excel Link	Version 2.0	Excel 链接
Filter Design Toolbox	Version 2.2	滤波器设计工具箱
Financial Derivatives Toolbox	Version 2.0	金融派出工具箱
Financial Time Series Toolbox	Version 2.0	金融时间系列工具箱
Financial Toolbox	Version 2.2.1	金融工具箱
Fixed-Point Blockset	Version 4.0	定点模块集
Fuzzy Logic Toolbox	Version 2.1.2	模糊逻辑工具箱
GARCH Toolbox	Version 1.0.2	GARCH 工具箱
Image Processing Toolbox	Version 3.2	图像处理工具箱
Instrument Control Toolbox	Version 1.2	仪器控制工具箱
LMI Control Toolbox	Version 1.0.8	线性矩阵不等式控制工具箱
MATLAB COM Builder	Version 1.0	MATLAB 组合目标模型生成器
MATLAB Compiler	Version 3.0	MATLAB 编译器
MATLAB Excel Builder	Version 1.1	MATLAB 表格生成器