



全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

MATLAB Solutions to
Mathematical Problems in Control

控制数学问题的 MATLAB求解

薛定宇 陈阳泉 著

Xue Dingyu Chen Yangquan

张庆灵 主审

Zhang Qingling



清华大学出版社



全国高等学校自动化专业系列教材
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

MATLAB Solutions to
Mathematical Problems in Control

控制数学问题的 MATLAB求解

东北大学

薛定宇

Xue Dingyu

著

美国犹他州立大学

陈阳泉

Chen Yangquan

东北大学

张庆灵 主审

Zhang Qingling

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

控制学科中的很多内容和数学问题是密不可分的。本书系统地介绍了国际控制界最流行的 MATLAB 语言在数学各个分支中的应用,包括微积分与积分变换问题的求解、线性代数问题的求解、微分方程问题的求解和最优化问题的求解,并基于这些基本内容探讨了离散系统、智能控制、鲁棒控制等控制分支数学问题的求解方法,还引入了分数阶微积分问题及其在控制应用方面的新思路。

本书可作为控制学科高年级本科生和研究生的教材和主要参考书,适合开设全新的课程,也可供相关专业的研究人员参考。

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 13501256678 13801310933

MATLAB, Simulink, Symbolic Toolbox, Optimization Toolbox, Control Systems Toolbox, Robust Control Toolbox, System Identification Toolbox, Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox, Model Predictive Control Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox, Neural Network Toolbox 等为 The MathWorks 公司的注册商标

图书在版编目(CIP)数据

控制数学问题的 MATLAB 求解/薛定宇,陈阳泉著. — 北京:清华大学出版社, 2007.11

(全国高等学校自动化专业系列教材)

ISBN 978-7-302-15297-2

I. 控… II. ①薛… ②陈… III. 数值计算—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材 IV. ①TP391.75 ②O241

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 073864 号

责任编辑:王一玲

责任校对:时翠兰

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:175×245 印 张:31.25 字 数:624 千字

版 次:2007 年 11 月第 1 版 印 次:2007 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:45.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:020838-01

出版说明

《全国高等学校自动化专业系列教材》 >>>>

为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”、“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”、“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版了一套自动化专业系列教材——《全国高等学校自动化专业系列教材》。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指导书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层面、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本系列教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

2005年10月于北京

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

顾问 (按姓氏笔画):

王行愚(华东理工大学)	冯纯伯(东南大学)
孙优贤(浙江大学)	吴启迪(同济大学)
张嗣瀛(东北大学)	陈伯时(上海大学)
陈翰馥(中国科学院)	郑大钟(清华大学)
郑南宁(西安交通大学)	韩崇昭(西安交通大学)

主任委员: 吴澄(清华大学)

副主任委员: 赵光宙(浙江大学) 萧德云(清华大学)

委员 (按姓氏笔画):

王雄(清华大学)	方华京(华中科技大学)
史震(哈尔滨工程大学)	田作华(上海交通大学)
卢京潮(西北工业大学)	孙鹤旭(河北工业大学)
刘建昌(东北大学)	吴刚(中国科技大学)
吴成东(沈阳建筑工程学院)	吴爱国(天津大学)
陈庆伟(南京理工大学)	陈兴林(哈尔滨工业大学)
郑志强(国防科技大学)	赵曜(四川大学)
段其昌(重庆大学)	程鹏(北京航空航天大学)
谢克明(太原理工大学)	韩九强(西安交通大学)
褚健(浙江大学)	蔡鸿程(清华大学出版社)
廖晓钟(北京理工大学)	戴先中(东南大学)

工作小组(组长): 萧德云(清华大学)

(成员): 陈伯时(上海大学) 郑大钟(清华大学)
田作华(上海交通大学) 赵光宙(浙江大学)
韩九强(西安交通大学) 陈兴林(哈尔滨工业大学)
陈庆伟(南京理工大学)

(助理): 郭晓华(清华大学)

责任编辑: 王一玲(清华大学出版社)

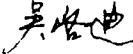


自动化学科有着光荣的历史和重要的地位,20世纪50年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在众多领域发挥了重大作用,如航空、航天等,“两弹一星”的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革方方面面,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分吸取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机制,适应了高等学校教学改革与发展的新形势,立足创建精品教材,重视实践性环节在人才培养中的作用,采用了竞争机制,以

激励和推动教材建设。在此,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写的老师致以诚挚的感谢,并希望该系列教材在全国高等学校自动化专业人才培养中发挥应有的作用。

 教授

2005年10月于教育部



《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2006年起将陆续面世。全套系列教材共50多本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指导书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教学,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划了一组专业实验教程,包括《自动控制原理实验教程》、《运动控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《检测技术实验教程》和《计算机控制系统实验教程》等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的,也可能是随机性的;控制方法可能是常规控制,也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了《自动化专业课程体系结构研究》专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入的研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套涵盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术,从系统理论到工程实践,从计算机技术到信号处理,从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所,参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国百余名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的、既考虑研究型大学又考虑应用型大学的自动化专业创新型系列教材。

然而,如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构?如何建设

基础知识与最新知识有机融合的教材?如何充分利用现代技术,适应现代大学生的接受习惯,改变教材单一形态,建设数字化、电子化、网络化等多元形态、开放性的“广义教材”?等等,这些都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版,对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、创造个性化的教学环境,一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限,本套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处,还望使用本套教材的广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴炯 院士

2005年10月于清华大学



控制学科中很多问题实际上就是应用数学问题，而控制学科的发展又催生了许多新的数学分支和方法，所以，利用一种强大的计算机数学语言来统一处理控制中的数学问题，对控制科学领域的学生与学者都有很积极的意义。这一方面可以从一个不同于以往的角度全面地认识控制理论，重新思考以往该学科中被忽视的实现问题，也有助于研究者借助计算机提供的强大功能探索新的知识，拓展新的研究方向。另一个方面，可以用简单的语句构造文献中的或自己提出的新方法，避免繁杂和极易出错的底层编程，用简洁的方式研究控制学科中的问题。比如说，在传统的控制学科中，连续系统的稳定性通常被建议采用 Routh 判据来判定，而离散系统应该采用更复杂的 Jury 表来判定，当然，这样的方法在控制理论的发展过程中起了里程碑式的作用，但随着计算机的发展和软件的进步，直接求取系统极点将比上述间接表格直观得多也容易得多，所以应该从观念上做出与时俱进的全面更新。另一个例子，纵观控制学科的文章会发现，诸多论著均声称提出的控制器效果优于工业上最常用的 PID 控制器，然而比较的 PID 控制器对象常用的是 20 世纪 40 年代提出的传统 Ziegler-Nichols 控制器，这样的比较当然有欠公允。所以从性能比较方面应该和效果最好的 PID 控制器相比较，才能得出有说服力的结论。但如何获得最好的 PID 控制器呢？如果不借助于强大的计算机工具是难以获得最好的 PID 控制器的，所以应该考虑与应用数学中的最优化问题求解结合起来，设定某些指标，然后用求解最优化的方法将最优控制器设计出来。要做到这一点，如果不掌握强大的计算机数学语言是不行的。

十年前，作者的著作《控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言与应用》由清华大学出版社出版。该书受到很多专家学者的关注，并被公认为国内关于 MATLAB 语言方面书籍中出版最早、影响最广的著作。该书被国内期刊文章和著作引用数千次，被数万篇硕士、博士论文引用，为我国高校师生和研究人员认识和掌握 MATLAB 语言，并用其解决控制领域各种各样的数学问题，受到各个层次读者的普遍欢迎。

本书继承了作者早期几部著作的优点,从使用者的角度出发,并结合作者十数年的实际编程经验和丰富的教学经验,系统地介绍各个数学分支中经典问题的 MATLAB 求解,并将系统地介绍控制中问题的求解。其中一些内容取材于作者在清华大学出版社出版的其他两部著作《高等应用数学问题的 MATLAB 求解》和《控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言与应用》(第二版),侧重数学问题在控制学科应用的特殊性,从结构上和叙述上做了大幅度的改进和整合,扩充了大量新的内容,将尤其适合于控制学科高年级本科生和研究生使用。

本书酝酿和写作过程中获得了控制界很多前辈、同行、朋友和学生的建议,作者特别感谢 Sussex 大学的 Derek P Atherton 教授、杨泰澄博士,东北大学任兴权教授、徐心和教授、刘建昌教授、井元伟教授、石海滨副教授,中科院系统科学研究所的韩京清研究员,清华大学郑大钟教授、胡东成教授、孙增圻教授、萧德云教授、王雄教授,哈尔滨工业大学马广富教授,北京交通大学朱衡君教授,新加坡国立大学葛树志教授,The MathWorks 公司的 Liang Jinsong 博士。东北大学潘峰、高道祥、赵春娜博士,博士生陈大力、鄂大志、张雪峰、翟春艳、曾静同学,硕士生熊琨等为本书部分内容的编写和软件设计做出了一定的工作。

本书承蒙东北大学张庆灵教授主审,并得到许多建设性建议。本书编写过程中一直得到本系列教材编委会副主任、清华大学萧德云教授和清华大学出版社前总编蔡鸿程老师的关注与帮助,本书的出版还得到了美国 The MathWorks 公司图书计划的支持,在此表示谢意,并特别感谢 Noami Fernandez 女士、Courtney Esposito 女士、Liz Salett 女士为作者提供的帮助。

由于作者水平所限,书中的缺点和错误在所难免,欢迎读者批评指教。

著 者

2007 年 2 月

教师反馈表

感谢您购买本书！清华大学出版社计算机与信息分社专心致力于为广大院校电子信息类及相关专业师生提供优质的教学用书及辅助教学资源。

我们十分重视对广大教师的服务，如果您确认将本书作为指定教材，请您务必填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回我们的联系地址，我们将免费向您提供有关本书的其他教学资源。

您需要教辅的教材：			
您的姓名：			
院系：			
院/校：			
您所教的课程名称：			
学生人数/所在年级：	_____人/ 1 2 3 4 硕士 博士		
学时/学期	_____学时/_____学期		
您目前采用的教材：	作者： _____ 书名： _____ 出版社： _____		
您准备何时用此书授课：			
通信地址：			
邮政编码：		联系电话	
E-mail：			
您对本书的意见/建议：	系主任签字 盖章		

我们的联系地址：

清华大学出版社 学研大厦 A602, A604 室

邮编：100084

Tel: 010-62770175-4409, 3208

Fax: 010-62770278

E-mail: liuli@tup.tsinghua.edu.cn; hanbh@tup.tsinghua.edu.cn



第 1 章 数学语言及其在控制中的应用概述	1
1.1 数学问题计算机求解概述	2
1.1.1 为什么要学习计算机数学语言	2
1.1.2 数学问题的解析解与数值解	2
1.1.3 数学运算问题软件包发展概述	3
1.1.4 代表性计算机数学语言	5
1.2 控制领域对数学问题的依赖	5
1.2.1 控制领域计算机软件包发展概述	5
1.2.2 MATLAB 和其他语言在控制领域应用的比较	7
1.2.3 控制中的数学问题	7
1.2.4 依赖计算机数学语言的控制研究新观念	8
1.3 MATLAB 语言预备知识	9
1.3.1 MATLAB 语言简介	9
1.3.2 基本数据类型与基本语句结构	9
1.3.3 流程控制结构简介	11
1.3.4 MATLAB 语言和 C 语言的对比实例	12
1.3.5 图形绘制	13
1.3.6 联机帮助信息	13
1.4 本书框架设计及内容安排	14
1.5 习题与思考题	15
参考文献	17
第 2 章 微积分与积分变换的计算机求解	19
2.1 微积分与矩阵微积分运算	20
2.1.1 极限问题的解析解	20
2.1.2 微分运算的 MATLAB 求解	21
2.1.3 积分运算	25
2.2 Laplace 变换及反变换	27

2.2.1	Laplace 变换及反变换定义与性质	27
2.2.2	Laplace 变换的计算机求解	29
2.2.3	控制系统的传递函数模型	31
2.3	Fourier 变换及反变换	36
2.3.1	给定函数的 Fourier 级数展开	37
2.3.2	Fourier 变换及反变换定义与性质	39
2.3.3	Fourier 变换的计算机求解	40
2.3.4	Fourier 正弦和余弦变换	41
2.3.5	离散 Fourier 正弦、余弦变换	43
2.4	Z 变换及反变换	44
2.4.1	Z 变换及反变换定义与性质	44
2.4.2	Z 变换的计算机求解	45
2.4.3	离散时间系统的建模	46
2.5	有理函数的部分分式展开及应用	49
2.5.1	留数的概念与计算	49
2.5.2	有理函数的部分分式展开	51
2.5.3	基于部分分式展开的 Laplace 变换	53
2.5.4	有理式部分分式展开在控制系统中的应用	53
2.6	控制系统结构图化简	55
2.6.1	控制系统的典型连接结构	55
2.6.2	节点移动时的等效变换	57
2.6.3	复杂系统模型的简化	57
2.7	习题与思考题	59
	参考文献	64
第 3 章	线性代数问题的计算机求解	65
3.1	特殊矩阵的输入	66
3.1.1	数值矩阵的输入	66
3.1.2	符号矩阵的输入	71
3.1.3	线性系统的状态空间模型	72
3.2	矩阵基本分析	74
3.2.1	矩阵基本概念与性质	74
3.2.2	符号多项式与数值多项式的转换	79
3.2.3	逆矩阵与广义逆矩阵	80

3.2.4	矩阵的特征值问题	84
3.2.5	矩阵的 Kronecker 乘积	88
3.2.6	矩阵微积分运算	88
3.2.7	矩阵分析在控制理论研究中的应用举例	90
3.3	矩阵的基本变换与分解	100
3.3.1	矩阵的相似变换与正交矩阵	100
3.3.2	矩阵的三角分解和 Cholesky 分解	101
3.3.3	伴随矩阵变换	106
3.3.4	矩阵的 Jordan 变换	107
3.3.5	矩阵的奇异值分解	110
3.3.6	矩阵转换方法在控制理论研究中的应用举例	112
3.4	矩阵方程的计算机求解	120
3.4.1	线性方程组的计算机求解	120
3.4.2	Lyapunov 方程的计算机求解	123
3.4.3	Stein 方程的求解	125
3.4.4	Sylvester 方程的计算机求解	126
3.4.5	Riccati 方程的计算机求解	128
3.4.6	矩阵方程求解在控制中的应用	129
3.5	非线性运算与矩阵函数求值	134
3.5.1	面向矩阵元素的非线性运算	134
3.5.2	一般矩阵函数求值	134
3.5.3	矩阵函数求值在控制系统中的应用	139
3.5.4	基于矩阵积分的线性微分方程求解	143
3.6	习题与思考题	144
	参考文献	150
第 4 章	常微分方程问题的计算机求解	153
4.1	常系数线性微分方程的解析解方法	154
4.1.1	微分方程的解析解方法	154
4.1.2	特殊非线性微分方程的解析解	156
4.2	微分方程问题的数值解法	157
4.2.1	微分方程问题算法概述	157
4.2.2	四阶定步长 Runge-Kutta 算法及 MATLAB 实现	159
4.2.3	一阶微分方程组的数值解	160

4.2.4	微分方程转换	165
4.2.5	矩阵微分方程的变换与求解方法	172
4.2.6	微分方程数值解正确性的验证	174
4.3	特殊微分方程的数值解	174
4.3.1	刚性微分方程的求解	174
4.3.2	隐式微分方程求解	177
4.3.3	微分代数方程与广义系统的求解	180
4.3.4	延迟微分方程求解	183
4.3.5	多模型切换系统的求解	185
4.3.6	随机信号激励下线性微分方程的离散化求解	186
4.4	微分方程边值问题的计算机求解	189
4.4.1	二阶微分方程两点边值问题的求解方法	190
4.4.2	一般边值微分方程的求解方法	191
4.4.3	微分 Riccati 方程与二次型最优控制问题求解	193
4.5	基于框图的非线性系统的仿真方法	198
4.5.1	Simulink 简介	198
4.5.2	Simulink 相关模块	199
4.5.3	基于 Simulink 的控制系统建模与仿真	199
4.5.4	S-函数的设计与应用	210
4.6	习题与思考题	215
	参考文献	220
第 5 章	最优化问题的计算机求解	221
5.1	代数方程的求解	222
5.1.1	代数方程的图解法	222
5.1.2	多项式型方程的准解析解法	224
5.1.3	一般非线性方程数值解	227
5.1.4	方程求解在控制系统研究中的应用	230
5.2	无约束最优化问题求解	236
5.2.1	解析解法和图解法	236
5.2.2	基于 MATLAB 的数值解法	238
5.2.3	全局最优解与局部最优解	239
5.2.4	利用梯度求解最优化问题	241
5.2.5	利用最优化方法设计最优控制器	242

5.2.6	带有变量边界约束的最优化问题求解	247
5.3	有约束最优化问题的计算机求解	249
5.3.1	约束条件与可行解区域	249
5.3.2	线性规划问题的计算机求解	250
5.3.3	二次型规划的求解	253
5.3.4	一般非线性规划问题的求解	254
5.3.5	有约束最优化问题在最优控制中的应用	256
5.4	混合整数规划问题的计算机求解	258
5.4.1	整数线性规划问题的求解	258
5.4.2	一般非线性整数规划问题与求解	260
5.4.3	0-1 规划问题求解	262
5.5	最优化问题求解在控制中的其他应用	263
5.5.1	线性系统的最优降阶研究	263
5.5.2	非线性系统的线性化	267
5.5.3	基于误差的最优控制器设计程序 OCD 及应用	271
5.5.4	最优控制一般问题求解程序 RIOTS 简介	274
5.5.5	参数不确定系统的最优控制器设计	277
5.6	习题与思考题	280
	参考文献	283
第 6 章	差分方程问题的计算机求解	285
6.1	差分方程与离散系统传递函数模型	285
6.1.1	差分方程的分类	285
6.1.2	离散系统传递函数模型	288
6.2	离散系统的求解方法	288
6.2.1	线性时变系统的数值解法	288
6.2.2	线性时不变系统的解法	290
6.2.3	一般非线性离散系统的求解方法	291
6.2.4	连续、离散混合系统的仿真方法	292
6.3	离散系统的辨识	293
6.3.1	离散系统的最小二乘辨识	294
6.3.2	辨识模型的阶次选择	297
6.3.3	离散系统辨识信号的生成	299
6.3.4	离散系统的递推辨识	302