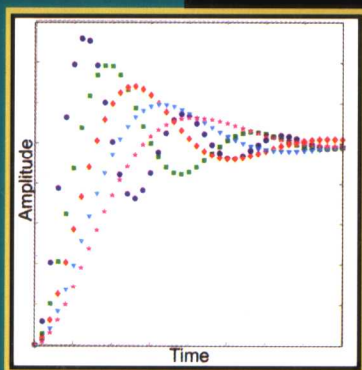


THOMSON



BookWare 系列丛书



离散时间控制问题

► 使用 MATLAB 及其控制系统工具箱

[美] 乔·H·周

迪安·K·弗雷德里克 著

尼古拉斯·W·切巴特

曹秉刚 王健 译

西安交通大学出版社

THOMSON
TM

 Book Ware 系列丛书

离散时间控制问题

——使用 MATLAB 及其控制系统工具箱

Discrete-Time Control Problems

Using MATLAB[®] and the Control System Toolbox

[美] 乔·H·周

迪安·K·弗雷德里克

尼古拉斯·W·切巴特

著

曹秉刚 王健 译



西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

图书在版编目(CIP)数据

离散时间控制问题:使用 MATLAB 及其控制系统工具箱 /
(美)周,(美)费雷德里克,(美)切巴特著;曹秉刚,王健译.
西安:西安交通大学出版社,2004.7

(BookWare 系列丛书)

书名原文:Discrete Time Control Problem: Using
MATLAB and the Control System Toolbox

ISBN 7-5605-1851-6

I. 离… II. ①周… ②费… ③切… ④曹… ⑤王…
III. 离散控制 IV. TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 065397 号

陕版出图字:25-2003-087 号

出版发行 西安交通大学出版社
地 址 西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)
电 话 (029)82668357 82667874(发行部)
(029)82668315 82669096(总编办)
印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司
字 数 276 千字
开 本 727 mm × 960 mm 1/16
印 张 15.75
印 次 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
印 数 0001~4 000 册
书 号 ISBN7-5605-1851-6 /TP·382
定 价 23.50 元

版权所有 侵权必究

内容简介

本书介绍了离散时间系统的模型建立,分析了离散时间系统在时域和频域里的系统性能,最后讨论了离散时间系统控制技术。本书包含了分析及设计离散时间反馈控制系统的例子,并提出了许多可进一步探讨的问题,这些例子和问题都是用 MATLAB 和控制系统工具箱来解决的。本书可作为自动控制类和机械电子工程等专业本科生相关课程的参考书和补充教材,对进行离散时间控制领域研究和教学的广大科研人员和教师也有一定的参考价值。

Joe. H. Chow, Dean. K. Frederick, Nicols. W. Chbat

Discrete-Time Control Problems: Using MATLAB and the Control System Toolbox, 1th Edition

EISBN: 0534384773

Copyright © 2003 by Brooks/Cole, a division of Thomson Learning

Original language published by Thomson Learning (a division of Thomson Learning Asia Pte Ltd).

All Rights reserved. 本书原版由汤姆森学习出版集团出版。版权所有,盗印必究。

Xian Jiaotong University Press is authorized by Thomson Learning to publish and distribute exclusively this simplified Chinese edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体字翻译版由汤姆森学习出版集团授权西安交通大学出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾)销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

981 - 254 - 670 - 7



中译本出版者的话

Brooks/ Cole 出版公司(Thomson Learning 出版集团的下属子公司)于 2000 年推出的系列丛书 BookWare Companion Series,大致涵盖的都是电子信息和电气工程类大学本科的主干课程。参加这套丛书编撰工作的大多是一些目前仍活跃在教学第一线的知名教授。组织出版这套丛书的初衷和每一位作者的想法可在“出版者的话”和每本书的作者“前言”中略见其详,这里不再赘述。

概括起来,原丛书出版者的意图大致有二:一是探讨如何将基于计算机的学习工具融于教学;二是给学生提供另外的学习空间,让他们能自主学习。总的目的就是要让学生积极主动地学习,这样会学得更好。由于课程性质和每位作者的想法有些差异,每本书在具体构成方式上会各有不同,但综合来看,这套丛书具有如下特点:

- 不求过细,而强调内容的系统性并注重相互联系。提纲挈领,注意总结,联系实际。因此,一般来说最好用作辅助性教材。

- 用“解说题”、“例题”、“强化题”、“探究题”等这些目的各异的题来演绎和深化概念,联系实际,并在重要概念的深度和广度上作适当延伸。这比“硬灌”会收到更好的效果。

- 全部题都有答案(或题解),如有必要均配有相应的 MATLAB 脚本,便于学生在学习中及时获得反馈。

- 丰富的 MATLAB 脚本资源和可随时进入的在线网站为广大读者提供了很大的学习空间。使他们的精力不再耗在编程上,而在探究上;他们可以利用这些脚本资源做他们想做的事;他们可以在计算机仿真上得到初步训练和更大的领悟,并为他们的创新意识和才能的发挥提供无限的空间。

根据我国当前高等学校的具体情况,我们组织出版这套丛书的中译本大致有如下几点考虑:

- 近几年来经国家和各级政府的重点建设和投资,高等学校的计算机硬件条件大为改善, MATLAB 软件已较为普及,有的学校已将宽带接入因特网联到学生宿舍,个人拥有一台 PC 机已不再稀罕,这都为使用这套丛书准备了必要的硬件和软件环境。

• 以 CAI 开始的教学手段现代化改革已持续了十多年,当今多媒体教学、电子教材、网络大学和网络课程等发展势头方兴未艾,其核心问题就是如何有效地利用计算机作为辅助教学工具,改进教学方法。这套丛书提供了一种可供大家借鉴的方式。

• 减少课内学时,精简内容,重组课程体系就是为了给学生留下更多的空间让他们自主学习。这套丛书为他们提供了这方面的素材。

• MATLAB 是一种集成度很高的语言,由于其功能强,使用方便和适用的计算机平台宽而被大家所接受,已在教学、科研和工程实际中广泛采用。这套丛书为学生熟悉、掌握和熟练应用 MATLAB 提供了一个载体,丛书中所给出的各种 MATLAB 脚本和仿真软件是科学研究工作者和工程实践人员不可多得的宝贵资源。


• 对于非全日制大学的那些成人教育、继续教育和自学考试的学生来说,这也是一套很有参考价值的辅助教材。

我社早在 20 世纪 80 年代中期就组织翻译出版了一套“外国教材精选”系列丛书,90 年代又陆续推出了《信号与系统》、《离散时间信号处理》等多本很有影响的外国优秀教材的中译本。这些都取得了良好的经济效益和社会效益。当前在国家教育主管部门正大力倡导在计算机等信息学科积极引进并直接采用外国优秀教材进行教学的时候,我们将一如既往,争取在较短的时间内将这套丛书的中译本奉献给大家。我们感谢广大读者过去对我社组织翻译出版的外国教材的青睐,并继续期望得到你们的支持。如有任何建议和要求,请与我们联系。

E-mail: xjtupress@163.com

西安交通大学出版社

2001.8



译者序

MATLAB[®] 是 MathWorks 公司于 1982 年推出的一套高性能的数值计算和可视化软件,它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体,构成了一个方便的、界面友好的用户环境。MATLAB 的推出得到了各个领域专家学者的广泛关注,其强大的扩展功能为各个领域的应用提供了基础。各个领域专家相继推出了 MATLAB 工具箱,其中主要的有控制系统(Control System)、信号处理(Signal Processing)、神经网络(Neural Network)、图像处理(Image Processing)、模糊逻辑(Fuzzy Logic)、鲁棒控制(Robust Control)等等,这些工具箱给各个领域的研究和工程应用提供了有力的工具。借助于这些工具,各个层次的研究人员可以直观、方便地进行分析、计算及设计工作,从而大大地节省了时间。另外,以前很多难以进行的计算也变得十分容易。

本书是一本创新性地介绍离散时间控制的课本,是另一本书《反馈控制问题——使用 MATLAB 及其控制系统工具箱》的配套书籍,作者是控制领域内的著名学者,在控制方面做了大量、深入的研究工作。本书介绍了离散时间系统的模型建立,分析了离散时间系统在时域和频域里的系统性能,最后讨论了离散时间控制技术。本书包含了分析及设计离散时间反馈控制系统的例子,并提出了许多可进一步探讨的问题,这些例子和问题是用 MATLAB[®] 和系统工具箱来解决的。

本书可作为自动控制类和机械电子工程专业本科生相关课程的参考书和补充教材,要求学生已经学习过连续时间系统反馈控制设计课程。本书也对离散时间控制领域的教师和广大科研人员有一定的参考价值。

西安交通大学机械电子工程专业博士研究生王健同学在本书的翻译过程中做了大量的工作,译者在此表示感谢。

由于译者水平有限,书中的缺点、错误在所难免,欢迎读者批评指正。

曹秉刚

2004 年 7 月于西安交通大学



出版者的话

——关于这套丛书

使用 MATLAB 可以节省课堂时间并拓展学生的学习。

新技术和现代方法正日益融入业已浓缩并具有重要理论的课程,因此,很多教师现在要问:“我们只是将这些最新技术教授给学生呢?还是教会他们如何推理”?我们深信,这两方面不应互相排斥。事实上,本丛书就是基于这样的信念:计算机求解和基本理论是能够互补的。应用恰当,计算结果可以阐明理论,并帮助学生以各种富有意义的方式进行思考、分析和推理。它也能够帮助学生理解新的信息和现有知识之间的关系和联系,以及培养他们解决问题的技巧、感性认识和积极主动思考的能力。为此使命,这套“BookWare 系列丛书”便应运而生了。

具体地说,本丛书是专为这样的教师——他们想要把计算机辅助学习融合到课程之中去——而编写的;也是为想比仅从教科书中学到更多知识的学生编写的。教师可以从中发现,功能很强的软件工具是支撑他们课程活动的各种手段,而不会限制他们的应用。学生会发现,可以迅速获得各种相关的习题和例题,并具有电子接入方法。对教师和学生来说均为重要的是这套丛书基于这样的前提:如果学生积极主动地学习,他们会学得更好。“BookWare 系列丛书”定会受到学生的青睐,为他们提供一种对现实问题的感受,展示解决实际问题的清晰方法,并在理解和应用这些方法上挑战自我。

为了更好地满足你的需要,我们将继续寻找使这套丛书日臻完善的方法。为达此目的,请加入到我们的“BookWare Companion Resource Center”中来,我中心的网址是:<http://www.brookscole.com//engineering//bookware//>^①。

^① 译者注:原书提供的网址是 <http://www.brookscole.com/engineering/ee/bookware.html>

你推荐的方法都会使这套丛书更加令人满意,在课堂教学中与同仁们分享你如何使用技术的见解,为下一版提出具体的习题或例题,或者将你的想法告诉我们。务请不吝赐教。

我们恭候你的回音,谢谢你的持续不断地支持。

Bill Stenquist	出版人	<i>bill.stenquist@brookscole.com</i>
Heather Woods	责任编辑	<i>heather.woods@brookscole.com</i>
Nathan Wilbur	市场经理	<i>nathan.wilbur@brookscole.com</i>
Christina DeVeto	市场助理	<i>christina.deveto@brookscole.com</i>



前 言

随着处理器和数字信号处理(DSP)芯片的发展,数字控制逐渐成为日常生活中的普遍现象。先进的汽车、飞行器和仪器设备的应用软件的控制算法不可能仅仅通过采用模拟电路来准确的、经济的实现,而必须编写为计算机代码存入存储器中。本书的目的是帮助那些正在学习数字控制系统工程知识的初学者,使他们能够用一台数字计算机来快速运算更广阔范围内的数值计算问题以便加强学习进度并获得对控制设计更深一层的认识。本书围绕一些直观的例题编写,这些例题说明了分析和设计的步骤。这些例题后面是多种多样的题目,从简单的规范性的补充问题到随后的问题分析,到实际的综合性问题一直到探索性问题。球和梁系统与倒摆系统是两个在综合性问题中反复使用的模型系统,它们是大学的控制实验室中普遍采用的系统。

为了实现这个目标,本书中采用了 MATLAB 和控制系统工具箱。这本书和配套的从 Brooks/Cole 网站下载的 MATLAB 文件可以作为众多关于数字控制系统介绍性教材的一个补充。我们并不是有意想使这本书成为学习这一内容的唯一参考教材,因为这些关键结果是从基本的原理总结说明而来的并不是从这些原理发展而来的。

本书中充实的、大量的内容来源于第一作者在伦塞尔工学院(Rensselaer Polytechnic)研究中心离散时间系统演播课程的笔记和编写的 MATLAB 文件。在演播教学的模式下,教学可以在教学/计算机教室进行,实现在讲解后马上进行课上 MATLAB 作业,使学生们能够巩固他们学到的控制概念。对于正在或考虑采用类似的交互式的教学系统教授数控课程的教师们,可以方便的采纳书中的 M 文件作为课上练习。

本教程、附带的文件、可以运行 MATLAB(11 或 12 版本)以及控制系统工具箱(4.0 或更高版本)的计算机的结合可以提供给用户大量的应用线性离散时间系统分析的机会,而这些分析是构成反馈控制系统分析和设计的基础。因为强大的计算机环境通常是可以利用的,因此用户将不再被限制在能用手算解决的一阶、二阶的问题上。也不会被为了解决富有意义的题目所进行的艰苦的实验运算所累。而是将精力集中在理解从计算机中获得的分析和设计的结果上,因此,也将会加快

学习进程。

本书的题目适合那些学习数控系统高级教程的学生。我们假定读者已经学习了关于连续时间系统反馈控制设计的初级教程。许多优秀的教材可以用来作为连续时间反馈系统的复习教材。由两个作者(DKF 和 JHC)合著的关于连续时间反馈系统 MATLAB 题目的配套教材提供了很多可用的 MATLAB 代码编写的例题。从第 5 章开始的数据采样控制系统将用到连续时间系统。在基于传递函数模型的离散时间系统分析模型的基础上,本书还引入了基于状态空间模型和设计模型的题目。同样的,本书可以作为那些学习数控系统研究生课程的学生的补充教材。此外,它还可以作为在职工程师的综述性和指导性教材,使他们能够精通数控系统的计算机辅助设计。因为在实际控制执行中数字信号处理概念的重要性,我们将在第 6 章讨论关于频率响应和数字滤波器的问题。这一部分内容完全适合频域分析和超前-滞后补偿器设计。

文中内容的组织结构与大多数介绍性的数控系统教材相一致。首先,在第四章,介绍系统的状态空间建模,为了强调它在实际建模中的重要性。然而,对于那些遵循一条总纲而不需要了解状态空间建模的人来说,可以直接跳过第四章而不会影响连续性。

本书基于这样的前提编写,即通过研究例题和相关的 MATLAB 命令,并计算复杂性逐渐增加的题目,学习控制系统。每个例子都被设计用来说明一个特殊的概念而且通常包含一个 MATLAB 命令脚本,该 MATLAB 命令脚本是用于模型生成和计算的。有些例题后面有问题分析(如果……将会怎样?),使读者马上有机会去解答相关的问题,去领会概念中某些更加复杂的内涵。接着会提供几道补充问题以便将所学的技术进一步应用到典型的问题中。在每章的最后会提出一或两道探索性问题以训练读者将该技术应用到用户系统中去。从第 2 章开始,提出的综合性题目包含的分析和(或)设计的实时系统模型列于附录 A 中。为了解决这些问题,读者需要应用到该章讨论的概念。对每个实际模型进行了分析并且介绍了在模型里增加新技术的控制设计。对于球和梁系统与倒摆系统,有经验的学生们可以直接用他们的设计去检验控制的性能。

为了有效地利用本书,读者需要对 MATLAB 有一定的了解,包括数据的录入、绘图以及简单的计算。可以提供 M 文件的 Brooks/Cole 网站的网址是 http://www.brookscole.com/engineering_d/。这些文件可以下载下来并且能够解决这本书中提到的所有例题、补充问题、综合性问题。还给出了可以使用户完成探索性问题的 M 文件。这些 M 文件还包括几个特殊的 RPI 函数,这些函数可以实现一些在 MATLAB 和控制系统工具箱中没有的计算。



致 谢

我们想感谢我们的编辑, Brooks/Cole 的 Bill Stenquist, 对出版该书的热情支持。使这本数字控制问题书籍成为 Brooks/Cole 配套系列丛中连续时间控制问题一书的配套书籍。我们感谢以下几位评论家, 他们提出的建议对确定本书的内容起了非常有益的作用。

Bonnie S. Heck, 佐治亚州理工学院

Jin Jiang, 西安大略大学

Douglas K. Lindner, 维吉尼亚工学院和维吉尼亚大学

Hitay Ozbay, 俄亥俄州州立大学

David G. Taylor, 佐治亚州理工学院

John P. Uyemura, 佐治亚州理工学院

Stephen Yurkovich 俄亥俄州州立大学

特别感谢 Resselaer 的 Lester Gerhardt 教授, 他多次同第一作者讨论离散时间系统课程的讲义。还要感谢演播课程的学生们, 他们提供了改进这门课程的反馈信息。感谢许多毕业的和在读的 Resselaer 的学生在编写 M 文件中提供的帮助。特别是 Shaopeng Wang 和 Jeff Brunsein 开发了许多 **PRI** 函数, Xuan Wei 细心的编辑所有的 M 文件并在例题中交叉验证它们。我们还要感谢 Quanser Consulting 的 Jacob Apkarian 和 Matthew Hodjera, 讨论综合性题目中的球和梁系统与倒摆系统实验。

在 Brooks/Cole 出版公司, 我们感谢生产部经理 Mary Vezilich 的帮助, 以及审查编辑 Sue Ewing、市场部执行经理 Tim Ziolkowski、编辑调度 Valerie Boyajian 的协助。Matrix Productions 的 Merrill Peterson 整理了备份

我们感谢我们的老板, 过去的和现在的 (Resselaer 技术研究院、统一技术、萨

拉托加控制系统、通用电气全球研究、Mayo clinic),他们提供了设备和软件使我们能够准备这本书。

最后,我们感谢我们的家人,他们的长期支持使我们能够有时间准备这本书和M文件。

J. H. Chow, Troy, 纽约

D. K. Frederick, Saratoga Springs, 纽约

N. W. Chbat, Rochester, 明尼苏达州

目 录

第 1 章 绪论

引言	(1)
MATLAB 和控制系统工具箱	(1)
专题的交叉引用	(2)
本书的使用方法	(3)

第 2 章 单模块模型和它们的响应

引言	(6)
传递函数	(6)
留数和单位 DELTA(脉冲)响应	(11)
由不同的极点引起的时间响应	(15)
由重极点引起的时间响应	(18)
阶跃响应	(20)
普通输入响应	(22)
极点和稳定性	(24)
零点对系统响应的影响	(27)
建立多输入、多输出系统	(31)
探索性问题	(34)
综合性问题	(35)
总结	(36)
答案	(37)

第 3 章 建立和分析多模块模型

引言	(39)
串联	(39)
并联	(43)
反馈联接	(48)
控制器传递函数	(51)
双输入反馈系统	(52)
多输入、多输出系统的反馈联接	(57)
探索性问题	(59)
综合性问题	(60)
总结	(61)
答案	(62)

第 4 章 状态空间模型

引言	(64)
模型建立、转换和相互连接	(64)
极点、零点、特征值和稳定性	(70)
时间响应	(72)
状态转换	(76)
探索性问题	(78)
综合性问题	(79)
总结	(80)
答案	(80)

第 5 章 数据采集控制系统

引言	(83)
脉冲采样	(83)
伪信号	(86)
时域观察	(86)
频域观察	(88)
零阶保持	(90)
离散化	(95)

闭环采样数据系统	(97)
探索性问题	(101)
综合性问题	(101)
总结	(103)
答案	(103)

第 6 章 频率响应 数字滤波与离散等价量

引言	(105)
频率响应	(105)
正弦稳态响应	(108)
数字滤波	(110)
离散等价量	(115)
探索性问题	(119)
综合性问题	(120)
总结	(121)
答案	(121)

第 7 章 系统性能

引言	(123)
时域性能	(123)
阻尼比	(123)
S 平面到 Z 平面的映射	(124)
阶跃响应	(130)
将阶跃响应参量作为控制器参数的函数	(133)
稳态调节	(135)
频域性能	(138)
奈奎斯特分析	(142)
探索性问题	(144)
综合性问题	(145)
总结	(146)
答案	(147)

第 8 章 比例-积分-微分控制

引言	(148)
比例控制	(148)
比例-积分控制	(154)
比例-积分-微分控制	(159)
探索性问题	(164)
综合性问题	(165)
总结	(166)

第 9 章 频率响应设计

引言	(167)
双线性变换	(167)
超前和滞后控制器	(170)
滞后控制器设计	(172)
超前控制器设计	(178)
超前-滞后控制器设计	(182)
探索性问题	(186)
综合性问题	(186)
总结	(187)

第 10 章 状态空间设计

引言	(188)
可控性	(188)
极点布置	(190)
可观性	(192)
观测器设计	(194)
观测器-控制器设计	(197)
探索性问题	(202)
综合性问题	(204)
总结	(205)
答案	(205)