

《经济控制与智能管理》

丛书

经济控制与智能管理

鲁棒经济控制理论与方法

ECONOMICS

汤兵勇 程储旺 钟麦英 编著

11

中国纺织大学出版社

《经济控制与智能管理》
丛书

鲁棒经济控制理论与方法

汤兵勇 程储旺 钟麦英 编著

中国纺织大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

鲁棒经济控制理论与方法/汤兵勇,程储旺,钟麦英编著. —
上海:中国纺织大学出版社,2000.8

(经济控制与智能管理丛书)

ISBN 7-81038-268-3

I. 鲁… II. ①汤…②程…③钟… III. 鲁棒控制—经济控制论
IV. F224.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 12831 号

责任编辑 陶雪鸿

封面设计 周 新

责任校对 苏 俞

鲁棒经济控制理论与方法

汤兵勇 程储旺 钟麦英 编著

中国纺织大学出版社出版

(上海市延安西路 1882 号 邮政编码:200051)

新华书店上海发行所发行 中国纺织大学印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:8 字数:20 万

2000 年 10 月第 1 版 2000 年 10 月第 1 次印刷

印数:0 001-3 000

ISBN 7-81038-268-3/O·13

定价:14.80 元

内 容 提 要

本书从经济控制的实际出发,较系统地研究了不确定性时滞系统的鲁棒镇定理论,分别采用黎卡提方程方法和线性矩阵不等式方法得出了四类不同类型的时滞系统可鲁棒镇定的充分条件;采用动态对策方法研究了离散系统 H_{∞} 控制理论及其在经济金融领域的应用等。本书注重理论联系实际,兼顾学术性与实用性,反映出该领域近些年来的最新研究成果,具有较大的理论意义与实用价值。

本书内容丰富,深入浅出,可供各类科研人员、企业经营管理人员和各级管理干部阅读使用,并可作为高等院校各类经济管理、系统工程及控制理论与工程专业研究生与本科高年级学生的选用教材或教学参考书。

《经济控制与智能管理》丛书编委会

主 任 汤兵勇

副主任 黄小原 唐小我

编 委 (按姓氏笔划为序)

王文杰	王新民	朱玉兰	朱兴龙
朱坤平	汤兵勇	杜育根	陈亚荣
郑 飞	钟麦英	郭健全	顾晓敏
唐小我	黄小原	程储旺	

特邀海外编委 Li D. Xu(美国)

Ling X. Li(美国)

Xian chun Ding(德国)

Zhichang Zhu(英国)

C. W. Kenneth Keng(加拿大)

序

经济控制论是一门新兴的前沿边缘学科,它集当代哲学、社会科学、自然科学与数学之大成。虽然该学科尚处在探索、形成和发展过程之中,但近 30 年来它已为欧美国家解决大规模复杂的社会经济系统的模型、预测、决策与控制提供了行之有效的新技术,也为我国合理地管理与控制各类宏观和微观的经济活动提供了新的见解与工具,对于各国的经济发展起到了积极的促进作用,因而引起了世界各国及国内各部门的广泛关注与普遍兴趣,越来越显示出其重要的实用价值与深远的社会意义。

我国自动化学科的创始人之一、已故的著名学者、中国科学院院士张钟俊教授在 1983 年就曾明确指出:“在人们的生产活动、日常生活以及征服宇宙空间等等的实践中,控制理论和技术都扮演着很重要的角色,并获得了极大的成功。同时,这种理论和技术本身也随之发展到一个崭新的阶段。我想,在目前的基础上,控制理论要想产生新的突破和飞跃,必须寻求比宇航系统更复杂更困难的实践领域。不难发现,我们周围的社会经济系统便是这种进一步应用和发展控制理论的理想领域之一。”(见邹至庄著《动态经济系统的分析与控制》一书的译序,北京:友谊出版公司,1983)正因为此,他老人家“决心以有生之年,不遗余力地投入这个洪流中去”,集中研究经济系统,将经济控制论作为他晚年的主要研究方向之一,并为之作出了重大的贡献。

当前,经济与社会发展是世界大潮流,我国正处于深入改革开放、社会政治稳定、经济蓬勃发展的大好形势。以信息革命为代表的新技术革命,在现代科学技术发展的基础上,把工业经济时代推向一个崭新的时代——知识经济时代。这场伟大的变革既向我们提供了千载难逢的机遇,也向我们提出了十分严峻的挑战。为此,完全有必要运用控制理论(特别是第三代控制理论——智能控制理论)来研究现代市场经济条件下,经济、金融、贸易与社会各

领域发展的一般规律,并提出一系列解决实际经济管理问题的应用控制方法与技术,这就是我们正从事研究的交叉学科新方向——“经济控制与智能管理”的主要工作。我们编著这套丛书的目的,也是为了尽快反映该新方向研究的最新成果。

本丛书的特点是将控制理论与经济发展、自动化学科与管理学科、定量分析与定性分析有机地结合起来,既注重经济控制与智能管理中一般规律的理论研究和总结,又强调设计面向实际的应用技术,尤其要在创新上下功夫,并起到理论联系实际的桥梁作用。为此本丛书各分册的选题绝大部分是国内外的最新研究成果,有相当部分内容是作者们自己近年来的研究工作成果。本书在理论方法叙述时力求深入浅出,通俗易懂,与经济管理问题的结合自然合理,以便于各类科技人员、管理人员及高等学校的研究生与大学生们学习使用。

本丛书编委会衷心感谢控制论与系统工程界、经济界及管理界许多专家学者的大力支持和热情帮助。尤其是中国科学院院士张钟俊老先生生前对经济控制论的发展所寄予的殷切期望以及多次在这一研究方向与内容上给予我的热心关怀和具体指导,令我终生难以忘怀;而他对学术研究的那种孜孜不倦的奋斗精神,一直在激励着我努力攀登学术新高峰,本丛书也是奉献给他老人家的最真诚纪念。

中国纺织大学出版社高瞻远瞩,及时承担组织出版这套丛书的任务,并为此做了许多认真细致的准备与编辑工作,提供了不少有利条件,在此深表谢意。在当前跨世纪的新形势下,编辑出版本丛书的任务显然十分艰巨,加之时间仓促,书中出现疏漏不当之处,希望广大读者不吝赐教,以便我们逐步完善这套丛书系列,使之随着当代世界市场经济的发展需要而不断充实提高,为推动 21 世纪的经济繁荣与社会进步作出应有贡献。

汤兵勇

1999 年 6 月

前 言

在实际工程问题中,控制系统模型常含有不确定性。因为精确模型难以得到或者得到的模型过于复杂,在进行分析和设计时又不得不进行简化近似,而且由于环境等因素的影响,系统或多或少地存在外界干扰。另外,时滞也是控制工程中经常遇到的问题,常常对控制系统产生不利影响,甚至导致不稳定。

与实际工程系统相比较,经济系统更多地受到人和经济现象不确定因素的制约,使动态经济系统运行过程中难免偏离预期轨道,从而导致了经济系统风险的存在,尤其是随着世界经济一体化、国际金融市场自由化的发展,不确定性对各国乃至世界经济的影响已成为突出问题。

鲁棒控制理论是用于解决不确定性系统控制问题的重要理论,作为解决鲁棒控制问题较为成功的 H_∞ 控制理论经过近 20 年的发展已相当完善,并在工程应用研究中取得大量成果,但是在经济领域的应用研究还很不充分。

为此,本书从经济控制领域的应用角度出发,首先在时域中比较全面深入地研究了不确定性时滞系统的鲁棒镇定理论,内容包括:分别采用黎卡提方程方法和线性矩阵不等式方法对两类范数有界不确定性、秩-1 型不确定性和匹配不确定性时滞系统一一进行研究,得出了这四类系统可鲁棒镇定的充分条件;提出了不确定性时滞系统可二次镇定且具有 H_∞ 范数界的新概念;用线性矩阵不等式方法讨论了范数有界不确定性时滞大系统的分散鲁棒 H_∞ 控制问题。然后,本书将经济系统的不确定性归结为未知有界的模型参数不确定摄动和 l_2 范数有界不确定性扰动冲击信号,以经济金融领域的几个典型控制问题为对象,建立了具有不确定性的动态经济模型,介绍了如何将经济金融领域的控制问题归纳为 H_∞ 最优控制问题,并进一步研究了如何应用鲁棒 H_∞ 控制理论方法求解这类问题,对部分简例还应用 Matlab 软件进行了仿真研究。

本书内容丰富,兼顾学术性与实用性,叙述时力求推导严谨又深入浅出,便于广大读者阅读与应用。书中的大部分内容是作者们近些年来的研究成果,特别是程储旺博士与钟麦英博士的论文及其博士后工作期间的成果,曾得到有关专家的好评。

本书在撰写过程中曾得到控制理论与工程界、经济管理界许多专家学者以及管理干部与企业家们的大力支持和热情帮助,在此一并表示衷心感谢。书中若有不当之处,望读者批评指正。

作者

2000年1月

目 录

✱ 上篇:绪论 ✱

第 1 章 绪论	3
1.1 鲁棒及 H_∞ 控制理论概述	3
1.2 时滞系统的鲁棒控制	6
1.3 Riccati 方程的发展简史	14
1.4 LMI 方法的发展概况	17
1.5 本文的主要研究内容	19

✱ 中篇:时滞不确定性系统的鲁棒镇定 ✱

第 2 章 范数有界不确定性时滞系统的状态 反馈镇定 Riccati 方程方法	31
2.1 引言	31
2.2 第一类范数有界不确定性系统的鲁棒镇定	32
2.3 第二类范数有界不确定性系统的鲁棒镇定	39
第 3 章 秩-1 型不确定性时滞系统的状态反馈镇定	48
3.1 引言	48
3.2 准备知识	48
3.3 鲁棒控制器设计	50
3.4 仿真	55
3.5 结束语	56

第 4 章	匹配不确定性时滞系统的鲁棒镇定	58
4.1	引言	58
4.2	系统描述和控制器设计	58
4.3	设计实例	62
4.4	结束语	64
第 5 章	范数有界不确定性时滞系统的 鲁棒 H_∞ 控制器设计	65
5.1	引言	65
5.2	第一类范数有界不确定性时滞系统的 鲁棒 H_∞ 控制	65
5.3	第二类范数有界不确定性时滞系统的 鲁棒 H_∞ 控制	74
5.4	结束语	76
第 6 章	线性不确定时滞系统的鲁棒 H_∞ 控制器设计	78
6.1	引言	78
6.2	秩-1 型不确定性时滞系统的鲁棒 H_∞ 控制	78
6.3	秩-1 型不确定性系统的鲁棒 H_∞ 控制	83
6.4	匹配不确定性时滞系统的鲁棒 H_∞ 控制	85
6.5	结束语	86
第 7 章	范数有界不确定性时滞系统的 鲁棒镇定 LMI 方法	88
7.1	引言	88
7.2	第一类范数有界不确定性系统的鲁棒镇定	88
7.3	第二类范数有界不确定性系统的鲁棒镇定	94
7.4	结束语	99
第 8 章	不确定性时滞系统的鲁棒镇定 LMI 方法	100
8.1	引言	100
8.2	不满足匹配条件的情形	100
8.3	匹配情形仿真算例	106

8.4 结束语	113
第9章 不确定性时滞大系统的分散鲁棒 H_∞ 控制	115
9.1 引言	115
9.2 系统描述和预备知识	115
9.3 主要结果	118
9.4 例题	127
9.5 结论	129
第10章 秩-1型不确定性时滞系统的依赖于时滞的 鲁棒镇定判据	132
10.1 预备知识	132
10.2 主要结果	133
10.3 例题	138

✱ 下篇:离散系统 H_∞ 控制及其在 ✱ 经济金融问题中的应用

第11章 离散系统 H_∞ 控制基本理论	143
11.1 引言	143
11.2 H_∞ 最优控制问题	143
11.3 时变离散系统 H_∞ 控制	148
11.4 非线性离散时间 H_∞ 控制	154
11.5 离散系统的鲁棒性能准则问题	158
第12章 宏观经济系统 H_∞ 最优控制问题研究	168
12.1 引言	168
12.2 模型分析	168
12.3 宏观经济 H_∞ 控制问题	173
12.4 控制策略的鲁棒性能分析	176
12.5 仿真计算	178

12.6	结束语	182
第 13 章	可再生资源开发与投资的 H_∞ 控制策略研究	184
13.1	引言	184
13.2	模型分析	184
13.3	系统的 H_∞ 控制策略研究	188
13.4	简例	190
13.5	结束语	193
第 14 章	资产重组问题的 H_∞ 控制策略研究	195
14.1	引言	195
14.2	模型分析	195
14.3	资产重组 H_∞ 控制策略	199
14.4	算例	205
14.5	结束语	208
第 15 章	金融风险管理问题的 H_∞ 控制	210
15.1	引言	210
15.2	证券组合投资金融风险的鲁棒 H_∞ 控制策略研究	210
15.3	期权套期保值问题的非线性 H_∞ 控制	219
第 16 章	纳什均衡问题的 H_∞ 状态反馈策略	229
16.1	引言	229
16.2	问题描述	229
16.3	线性二次纳什问题的 H_∞ 状态反馈策略	231
16.4	简例	236
16.5	结束语	240
第 17 章	结论与展望	242

上 篇

绪 论

第1章 绪 论

1986年,众多控制界权威指出:鲁棒控制是当前系统论研究中一个最重要的领域。这使得本已活跃的鲁棒控制领域变得更加生机勃勃,鲁棒控制中引人注目的理论主要有 H_∞ 控制理论、结构奇异值理论(μ 理论)和 Kharitonov 区间理论等。现在鲁棒控制已渗透到很多方向,要对其作一全面的综述几乎是不可能的。

本章首先对鲁棒及 H_∞ 控制的发展作一简单的介绍,尤其是重点对时滞系统的鲁棒控制进行比较全面的综述,接着简单介绍了求解鲁棒以及 H_∞ 控制问题中常用的数学基础知识 Riccati 方程和线性矩阵不等式的发展及其在控制领域中的应用,最后对本书的主要内容及其安排进行了概括。

1.1 鲁棒及 H_∞ 控制理论概述

控制系统的鲁棒性是指系统中存在摄动即具有不确定性时系统能保持正常工作性能的一种属性。关于系统鲁棒性的研究,最早可以追溯到上个世纪 Peano、Bendixson 和 Darbox 等人对微分方程解对初值和参数具有连续依赖性的工作^[1]。这是一种无穷小分析的思想。之后,鲁棒控制问题出现在 Black(1927)的专利上。针对精确系统的大范围摄动,Black 提出了反馈和大增益的设计思想。遗憾的是,用此方法设计的系统,其闭环特性常常是动态不稳定的。直到文献[2]的结果发表之后,动态稳定性与大增益之间的关系才得以充分理解。Nyquist 的频域稳定性判据和 Black 的大增益思想形成了 Bode 专著的基础。此外,Bode 还引入了微分敏感性函数(differential sensitivity function)来衡量参数扰动下的系统

性能,但通常只限于微摄动的不确定性,即敏感性分析。可见,鲁棒控制的早期研究常只限于微摄动的不确定性,都是一种无穷小分析的思想。实际上系统中参数是不能视为不变或仅具无穷小摄动的,系统工作环境的变化、模型的不精确、降阶近似、非线性的线性化等均可化为一种参数扰动,有时系统受控对象可能有几个不同的工作状态,当用同一控制器来控制这种对象时,人们也把由于不同工作状态所对应的参数的差别视为一种摄动,当然这种参数的变化只能视为有界摄动而不是无穷小摄动。因此传统的用于敏感性分析的数学方法已无法应用,必须采用能适合于大范围分析的方法和理论。现代鲁棒控制的最重要特点就是要求讨论系统性能在非微有界不确定性摄动下的保持能力。

20 世纪六七十年代,状态空间的结构理论的形成是现代控制理论的一个重要突破。状态空间的结构理论包括能控性、能观性、反馈镇定和输入输出模型的状态空间实现理论,它连同最优控制、卡尔曼滤波以及分离性原理一起,使现代控制理论成了一个严密完整的理论体系,并在宇航和机器人控制等应用领域取得了惊人的成就。但所有这些研究要求受控对象的数学模型是完全已知的,而大多实际的工程系统都运行在变化的环境中,要获得精确的数学模型是不可能的。因此,理论的发展与应用严重脱节。现代控制理论的这一局限性促进了鲁棒控制的发展。到 1972 年鲁棒控制(robust control)这一术语首次在文献[3]中出现,1974 年首次在文献[4]的标题中出现。但对鲁棒控制的精确定义至今没有一致的说法。其中一个重要的分歧在于:鲁棒控制是包括无穷小摄动系统的控制问题,还是仅仅局限于非微有界不确定性摄动系统的控制问题。鲁棒控制思想在经典控制理论中是以稳定性裕度来衡量的,但由于这种基于 Nyquist 频率判据的概念只适合于单输入单输出系统,随着系统本身的复杂化,它的应用范围受到了限制。到 80 年代,鲁棒控制的研究越来越活跃。1986 年,众多控制界权威指出:鲁棒控制是当前系统论研究中一个最重要的领域。这无疑又加速