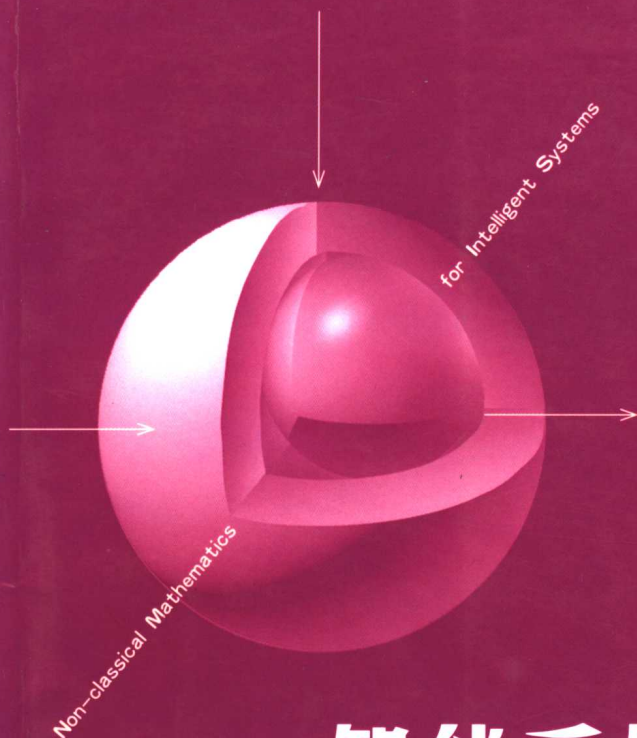


先进制造技术系列



智能系统 非经典数学方法

Non-classical Mathematics for Intelligent Systems

朱剑英

华中科技大学出版社

先进制造技术系列

TP18

Z)6(-

智能系统 非经典数学方法

Non-classical Mathematics for Intelligent Systems

朱剑英



A0856997

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

智能系统非经典数学方法/朱剑英
武汉:华中科技大学出版社,2001年4月
ISBN 7-5609-2396-8

I. 智…
II. 朱…
III. 人工智能-数学方法
IV. TP18

智能系统非经典数学方法

朱剑英

责任编辑:龙纯曼
责任校对:蔡晓璐

封面设计:潘群
责任监印:熊庆玉

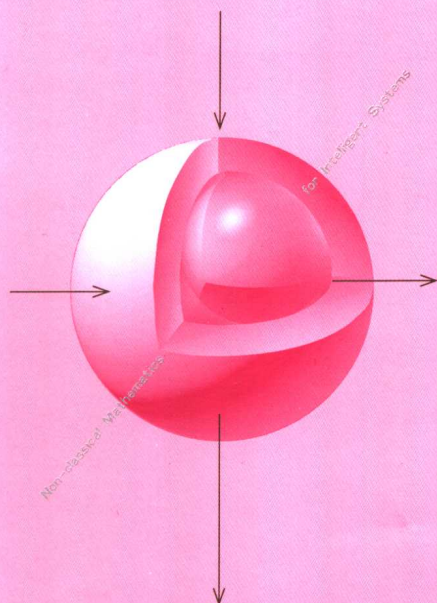
出版发行:华中科技大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中科技大学出版社照排室
印刷:武汉市科普教育印刷厂

开本:850×1168 1/32 印张:10.75 插页:2 字数:247 000
版次:2001年4月第1版 印次:2001年4月第1次印刷 印数:1—2 000
ISBN 7-5609-2396-8/TP·424 定价:15.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)



内 容 简 介

本书首先对系统论、控制论的发展历史,智能系统与“智能数学”发展中的难点问题,三次数学危机及其影响作了介绍,从而引出非经典数学发展的必要与必然性.继后对当前工程中应用较多的非经典数学——模糊数学、人工神经网络和遗传算法分章作了介绍.在介绍时,着重介绍方法和创新思维;对有些理论问题,在可以提高到认识论和方法论的高度来说明时,则尽量从较高的层次上来阐述,以启发读者做出更大的创新.

前 言

我写这部书的动机有两个：

一是为了满足广大工科院校研究生(特别是博士研究生)做研究工作的需要.近十年来,工科院校的研究生在他们的研究工作中,大量地应用了近代非经典数学的成果,他们的研究课题,大多选择在高新技术领域或基础学科的新分支领域.这样,他们原有的经典数学知识就显得很不够用.现在许多院校,对工科博士生都开设了数学课,这是很必要的.但博士生们提出,更希望学习工程领域应用的非经典数学,如模糊数学、神经网络数学、遗传算法、Petri 网理论、分形与分维、混沌理论、小波分析、非线性数学、大系统理论、非经典逻辑……等等.他们还希望学习工程数学方法论、数学建模、数学发展简史等,以提高数学文化素养,促进创新能力的发挥.这些要求,无疑是积极的、合理的.然而由谁来承担这样的教学任务呢?我们原有的数学教师学的教的都是经典数学,他们并不从事工程和科技前沿的研究工作,显然他们难以承担这样的教学任务;看来,做这一件事,只能由在工程和科技第一线做研究的专业教师来担任了.近二十年来,我已指导了数十名工程博士生,在他们的研究课题中,应用了许多不同领域的非经典数学方法,因此我们积累了不少经验和体会.从 1998 年开始,我便开设了我校博士生的非经典数学课程.第一遍讲下来,效果不错,学生们学了就能用,课程很受欢迎.唯一欠缺的是没有教材,学生只能作笔记.所以 1999 年抽暑假时间,我将讲稿整理成教材,以帮助研究生们学习和研究.

二是为了满足广大科技工作者做研究工作的需要.21 世纪是科技更加突飞猛进的世纪,是科技更加显示为第一生产力的世纪.

现在,“信息时代”、“知识经济”、“智力社会”、“知识工程”、“网络世界”、“数字地球”……等等已成为热门话题.任何时代、社会、经济的基础是生产,而生产的基础则是诸多生产要素及其有机组织.不过,未来的这些生产要素及其有机组织,却具有许多新的特征,即信息化、网络化、数字化、集成化、智能化.围绕着这些特征,许多高新技术研究方兴未艾.数学方法从来都是科学研究的有力工具,数学理论也是各门学科的基础.马克思说:“一种科学只有成功地运用数学时,才算达到了真正完善的地步.”但是在围绕着上述几个“化”的研究中,特别是在涉及到人的智能和知识的智能化问题的研究中,原有的经典数学就遇到许多难以克服的困难.广大的科技工作者迫切希望有一些精练实用的近代非经典数学理论与方法的书籍,以便他们学习、应用,提高研究水平,促进研究创新.因此,我写这部书的另一动机,也就是想为他们实现良好愿望提供参考.

非经典数学理论与方法是20世纪50年代后逐步发展完善起来的,至今不过四五十年时间,同时涉及的领域又很广,所以大多不太成熟.特别是这些非经典数学的理论基础研究很不够,有的涉及到较高层次的数学哲理(如模糊逻辑),就更是研究不深.因此,我在介绍这些数学时,主要着重于方法而不着重于定理,主要着重于创新思维而不着重于证明与推导.

特别值得指出的是,从近几十年来的非经典数学发展的实际情况来看,许多非经典数学问题往往不是数学家提出来的,相反大多是由各行各业的科学家和工程技术人员提出来的.例如,模糊数学是由计算机科学专家L. A. Zadeh教授于1965年提出的,而遗传算法则是由系统与控制专家J. H. Holland教授于1962年提出的.非经典数学方法有较强的创新精神和与实际问题的紧密结合的特点,所以这些数学方法,有许多还往往是由研究生们为解决实际工程和科技问题而提出来的.例如Petri网理论,就是由博士生C. A. Petri在他的博士论文“自动化通信”中提出的.所以,我希望使用本书的读者们,不要单纯地学习,而是要学习、思考、实践、创造,

再学习、再思考、再实践、再创造。

写这部书时,得到了我的学生们的许多帮助,其中有些例题,是他们学习本课程时做的习题;有些应用实例,就是他们所研究的课题;还有些见解,是他们讨论本课程时发表的创见.在此对他们表示衷心的感谢.

这部书的出版,受到国家自然科学基金重大项目“支持产品创新的先进制造技术中的若干基础研究”(项目批准号:59990470)的资助.本书也是为配合该重大项目的研究而写的.

朱剑英

1999年9月

作者简介

朱剑英 教授、博士生导师。
南京航空航天大学原校长，现任机械电子工程研究所所长。兼任国际生产工程学会（CIRP）中国理事，国务院学位委员会学科评议组成员，国家自然科学基金评审委员会及国家自然科学基金委员会学科评议组成员等职务。朱剑英教授长期从事高等学校教研工作，培养了大批高级专门人才。他把模糊系统与数学理论应用于机械制造，在国际上首次建立了多变量生产过程模糊控制系统及零件模糊分类专家系统，提出10余项国际首创的模糊分析理论与方法。他建立的载人航天器交会对接的数学模型和力反馈控制系统，在模拟系统上实现了间隙为0.01mm的对接，达到国际先进水平。在智能机器的语音、视觉、力觉等方面提出了20多项具有独创性的理论和方法，建立了世界上第一个语音输入、自动编程的CNC机床系统，提出了基于多智能体的开放式可重构智能制造模式。出版专著及教材15部，发表论文120余篇。被评为江苏省优秀学科带头人。他是国际知名的航空制造专家。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 什么是系统	(1)
1.2 什么是智能系统	(4)
1.3 “知识经济”与智能系统	(7)
1.4 智能数学——智能系统的科学基础	(8)
1.5 本书的内容	(11)
第二章 三次数学危机及其启示	(12)
2.1 什么是数学危机？数学危机有什么意义？	(12)
2.2 第一次数学危机	(13)
2.3 第二次数学危机	(14)
2.4 第三次数学危机	(18)
2.5 数理逻辑及其发展	(22)
2.6 第三次数学危机的新发展	(24)
第三章 模糊数学	(26)
3.1 模糊集合论的基本概念	(26)
3.1.1 经典集合论的基本概念	(26)
3.1.2 模糊集合的定义	(35)
3.1.3 模糊集合的运算	(38)
3.2 模糊集合的分解定理	(41)
3.2.1 模糊集合的截集	(41)
3.2.2 分解定理	(46)
3.3 模糊集合的隶属度	(48)
3.3.1 边界法	(48)
3.3.2 模糊统计法	(50)
3.3.3 参照法	(52)

3.4	模糊集合的扩张原理	(58)
3.4.1	经典集合的扩张原理	(58)
3.4.2	模糊集合的扩张原理	(59)
3.4.3	多元扩张原理	(62)
3.5	模糊模式识别	(68)
3.5.1	模糊模式识别的直接方法	(69)
3.5.2	模糊距离与模糊度	(75)
3.5.3	贴近度	(84)
3.5.4	多因素模糊模式识别	(90)
3.6	模糊关系与聚类分析	(99)
3.6.1	经典关系	(99)
3.6.2	模糊关系的基本概念	(104)
3.6.3	模糊等价关系	(111)
3.6.4	模糊传递闭包和等价闭包	(118)
3.6.5	求相似矩阵的等价类的直接方法	(125)
3.6.6	直接聚类的最大树法	(131)
3.6.7	模糊聚类分析	(133)
3.6.8	模糊 ISODATA (Interactive Self-Organizing Data) 法	(141)
3.7	模糊综合评判	(145)
3.7.1	模糊变换	(146)
3.7.2	简单模糊综合评判	(147)
3.7.3	不完全评判问题	(149)
3.7.4	多层次模糊综合评判	(152)
3.7.5	广义合成运算的模糊综合评判模型	(155)
3.8	模糊逻辑与模糊推理	(157)
3.8.1	模糊逻辑	(157)
3.8.2	模糊语言	(164)
3.8.3	模糊推理	(168)

第四章 人工神经网络的数学基础	(184)
4.1 概述	(184)
4.1.1 人工神经网络研究简史	(184)
4.1.2 人脑神经元与人工神经元模型	(187)
4.1.3 人工神经网络模型	(190)
4.1.4 神经网络的学习规则	(191)
4.2 前向神经网络	(194)
4.2.1 感知器	(194)
4.2.2 有导师学习网络(BP 网络)	(195)
4.2.3 改进的 BP 算法	(202)
4.3 Hopfield 网络	(209)
4.3.1 离散型 Hopfield 网络	(210)
4.3.2 连续型 Hopfield 网络	(212)
4.3.3 旅行商问题(TSP)	(216)
4.4 自组织神经网络(SOM 网络).....	(221)
4.5 随机神经网络——Boltzman(玻耳兹曼)机	(224)
4.5.1 Boltzman 分布	(224)
4.5.2 模拟退火	(224)
4.5.3 随机神经网络的概率分布	(225)
4.5.4 多层前馈随机网络(BM 网络)	(227)
4.6 模糊神经网络	(230)
4.6.1 模糊神经元模型	(230)
4.6.2 模糊 Hopfield 网络	(233)
第五章 遗传算法	(239)
5.1 概述	(239)
5.1.1 遗传算法的生物学基础	(239)
5.1.2 遗传算法发展简史	(243)
5.1.3 遗传算法的特点	(245)
5.2 基本的遗传算法	(246)

5.3	遗传算法的基本理论与方法	(252)
5.3.1	模式定理	(252)
5.3.2	误导问题(deceptive problem)	(258)
5.3.3	编码	(263)
5.3.4	群体设定	(268)
5.3.5	适应度函数	(270)
5.3.6	选择	(274)
5.3.7	交换	(278)
5.3.8	变异	(280)
5.3.9	性能评估	(282)
5.3.10	收敛性	(283)
5.4	非线性问题寻优的遗传算法	(286)
5.4.1	一般非线性优化问题的遗传算法	(286)
5.4.2	约束最优化的遗传算法	(289)
5.5	背包问题(knapsack problem)	(291)
5.5.1	问题描述	(291)
5.5.2	背包问题的遗传算法求解	(292)
5.5.3	进一步的讨论	(294)
5.6	旅行商(TSP)问题	(295)
5.6.1	编码与适应度	(296)
5.6.2	遗传操作	(296)
5.6.3	实例	(300)
5.7	调度问题	(303)
5.7.1	问题概述	(303)
5.7.2	调度问题的遗传算法求解	(305)
5.8	混合遗传算法	(311)
5.8.1	遗传算法优化神经网络	(311)
5.8.2	遗传算法优化模糊推理规则	(316)
参考文献		(322)

第一章 绪 论

1.1 什么是系统

大千世界,浩瀚纷纭.人类如何认识如此五彩缤纷、气象万千的世界?人类认识世界是从聚类开始,也就是说,把某些性质相似的事物归为一类,从总体上研究该类中事物的联系及各事物对总体发展的影响.“物以类聚”、“世界是一个整体”,这是人类祖先对世界整体认识的一种朴素的系统思想.

古代中国人为了解释世界,提出阴阳五行学说.他们认为阴阳二气相互调和、消长形成了万事万物的发展变化,并由此而生出五行:金、木、水、火、土.阴阳五行学说后来就成为中医的理论基础.中国以后的许多思想家进一步完善、发展了这一思想,如王阳明说“万物一体”,董仲舒说“天人合一”,他后来更进一步说“天人一物、内外一理”,这就把系统的思想从物质世界发展到精神世界了.

西方朴素的系统思想,最早体现在古希腊的原子论中.德谟克利特的著作就题名为《世界大系统》,他认为世界是由最小的物质原子组成.亚里士多德发展了朴素的系统思想,他认为万事万物皆由四种因素——目的因、动力因、形式因、质料因构成.四因说对世界进行了系统的分析,并给出了宇宙系统模型.亚里士多德还提出“整体大于部分之和”的系统思想,这一思想后来发展成系统论的基本原则.

“系统”这一词来源于拉丁文的“systema”和希腊文的“synistanai”,在英文韦氏字典和牛津字典中的解释是:“系统是处于一定关系中工作在一起的一组事物”或是“思想理论、原理等的

有序集合”(“group of things or parts working together in a regular relation.” or “ordered set of ideas, theories, principles, etc.”). 中国《现代汉语词典》(商务印书馆, 1998 年修订本)中对系统的解释是:“系统是同类事物按一定的关系组成的整体。”这些都是语言学的解释,关于系统的科学解释是 20 世纪 30 年代以后,特别是二次大战以后,随着“自动控制”学说形成和发展而不断完善的. 系统论的创始人贝塔朗非对系统给的定义是:“处于一定相互联系中与环境发生关系的各组成部分的整体”. “工程控制论”的创始人钱学森教授对系统有过一个简明的概括,“系统是指依一定秩序相互联系着的一组事物”. 在现代,许多自动控制科学家在其系统论和控制论的著作中,对系统给定了大体相似的定义. 汇总他们的意见,可以得到如下的关于系统的定义:

系统是由相互联系、相互作用的具有不同特征的若干部分(要素、子系统)组成的具有一定结构、确定功能、相对稳定和可以辨识的动态整体.

由上述定义可知,系统具有如下的特征.

(1) **整体性** 这是系统最基本的特性. 所谓系统,就是整体. 整体既可以是物质的、也可以是精神的,或是信息的(物质、精神二者兼有). 德国哲学家黑格尔关于系统的整体性有许多精辟的见解,如“整体大于部分之和”、“整体决定部分的质”、“离开整体去考虑部分,则不可能认识部分”、“整体中的部分是动态相关和依存的”等等.

(2) **关联性** 互相联系、互相作用才能形成动态稳定的整体. 稳定联系形成系统的结构,本质联系形成系统的规律.

(3) **结构性** 是系统中的必然联系. 它是指系统内部各组成要素或子系统之间在空间或时间方面有机联系或相互作用的方式、顺序. 有了结构,系统才能工作、运行和发展. 从这一意义上说,结构是系统的基石.

(4) **目的性** 就是系统的功能性、方向性. 凡系统均有一定的

功能.人们希望在一定的环境中,系统的功能达到最佳,这就是系统的优化.人们还希望系统能向着一定的目标发展.比利时物理学家普里高津从热力学第二定律出发,提出开放系统的“耗散结构”理论,回答了开放系统如何从无序走向有序的问题,他因此而获得了诺贝尔奖.

(5) **动态性** 运动是事物的基本特征,物质和运动是联系在一起不可分割的.只有运动,系统的各部分才发生相互关系.系统本身也处于运动、变化的过程中;也只有通过运动才能辨识系统和调控系统.系统的稳定是动态平衡状态的稳定.

(6) **调控性** 通过调控使系统达到稳定、有序地工作.如果系统本身具有调控功能,这就是系统的自组织、自适应性.自然界的系统,都具有自调控性,这就是达尔文的“适者生存、优胜劣汰”进化论的思想基础.人为的系统,其核心问题就是调控系统使系统达到最佳的性能.

人们认识系统的最基本的思想方法有两类.

(1) **分析、演绎法** 把系统中的要素、结构、联系、作用、行为、性能等等细分开来,逐一研究,通过类比寻找规律,根据规律演绎其变化和运动.

(2) **综合、归纳法** 把系统中的要素、结构、联系、作用、行为、性能等等综合起来,从总体上研究,采取精简化、抽象化、浓缩化、符号化和类比的方法,归纳出一般规律.

通常研究系统时,这两类方法是结合在一起考虑的.事实上,演绎法与归纳法二者的结合是近代自然科学使用的一般方法.杨振宁博士认为,中国过去重归纳法轻演绎法,这是中国近代科学不发达的一个重要原因.传统中国文化的中心是“理”.什么是“理”呢?这就是以思考来归纳“天人之一切”.中国传统的归纳思想比比皆是,如“无极而太极”、“万物皆归属阴阳”、“中医八纲:阴阳、表里、寒热、虚实”等等.但是只有归纳而无推演,就不能有近代科学,更不能有近代的系统科学.近代微积分、近代力学、近代控制论都

是归纳思考和演绎思考二者相结合的产物。

系统的要素、结构、联系、作用、行为、性能等等及系统整体都有一定的表现形式,用数学符号和数学方法来描述这些形式就是建立系统的数学模型. 系统的数学模型具有形式简单、便于计算、便于分析、易于改进、通用性好等优点,现在已成为分析、研究和设计系统的基本工具。

1.2 什么是智能系统

现代科学技术的飞速发展及现代经济、社会的巨大进步,展现了许多开放的、智能化的、复杂的巨型系统,也为系统科学的研究提出了如何使系统智能化的新问题。

具有人类智能或能模拟人类智能的系统称之为智能系统。

智能系统可以分成下列几种类型:

- (1) 人类本身的人体系统,特别是人脑系统;
- (2) 人类以其智能直接参与活动的系统,如金融系统、保险系统、体育系统等经济系统与社会系统;
- (3) 人与机器共同工作的人机系统;
- (4) 模拟或部分模拟人类智能的机器系统,如智能计算机系统、智能机器人系统、智能制造系统、智能控制系统等。

上述前两类智能系统是“人本系统”,也就是关于人类本身的系统,而后两类智能系统则是“人为系统”,是人类改造自然为人类谋利益而创造的系统。“人本系统”是生命科学、认知科学及社会科学研究的对象,而“人为系统”则是工程科学研究的对象。

工程科学研究“人为系统”的目的是要创造出能在最佳状态工作的、代替或部分代替人类体力劳动和脑力劳动的机器. 研究的核心问题是如何对系统进行调控以使系统达到最佳工作状态. 关于这一核心问题的科学就是控制论. 控制论是在第二次世界大战后建立的,到现在已经过去了 40 多年,大体上经历了三个阶