

模糊数学及其应用丛书

模糊神经网络

FUZZY NEURAL NETWORK

李晓忠 汪培庄 罗承忠 编著

贵州科技出版社



模糊数学及其应用丛书

模糊神经网络

李晓忠

汪培庄 编 著

罗承忠

国家教委博士点基金资助项目

贵州科技出版社

黔新登(90)03号

模糊神经网络

李晓忠 汪培庄 罗承忠 编著

贵州科技出版社出版发行

(贵阳市中华北路 289 号 邮政编码 550001)

※

核工业中南三〇六印刷厂印刷 贵州省新华书店经销

787×1092 毫米 32 开本 11.25 印张 230 千字

1994 年 9 月第 1 版 1994 年 9 月第一次印刷

印数 1~2000

ISBN7-80584-283-3/O·008 定价:11.30 元

《模糊数学及其应用丛书》

资 助 单 位

贵州科技出版社

中国人民解放军国防科学技术大学

贵州师范大学

中外合资贵州永兴电子仪表公司

贵阳大光五金站 吴石川

《模糊数学及其应用丛书》

编辑委员会

主 编

- 刘应明 (国务院学位评审员, 国家级有突出贡献的科学家, 博士生导师, 四川大学副校长, 教授, 国际模糊系统协会(IFSA)副主席)
- 汪培庄 (国家级有突出贡献的优秀专家, 博士生导师, 北京师范大学教授, 新加坡大学客座教授, 国际模糊系统协会(IFSA)理事, IFSA 中国分会主席)
- 陈世权 (贵州省有突出贡献的优秀专家, 贵州师范大学软科学研究室主任, 研究员)

编 委 (按姓氏笔划为序)

- 王光远 (中国工程院院士, 国务院学位评审员, 黑龙江省特级劳动模范, 博士生导师, 哈尔滨建筑工程学院工程理论研究所所长, 教授)
- 王国俊 (国家级有突出贡献的优秀专家, 博士生导师, 陕西师范大学校长, 教授)
- 任 平 (暨南大学经济数学教研室主任, 教授, 日本神户大

学客座教授)

吴从炘 (航空航天部有突出贡献的优秀专家, 博士导师, 哈尔滨工业大学数学系主任, 教授)

吴望名 (上海师范大学数学系主任, 教授)

张文修 (西安交通大学研究生院副院长, 教授)

郭桂蓉 (博士导师, 中国人民解放军国防科技大学副校长兼研究生院院长, 教授)

前 言

自从美国扎德(L. A. Zadeh)教授于1965年建立模糊集合论以来,由于它在处理广泛存在的一种不确定性——模糊性方面的成功,它在处理复杂系统方面的简捷与有力,在某种程度上弥补了经典数学与统计数学的不足,越来越受到欢迎。在这种背景下,随着模糊工程的开发和应用,模糊技术产品的广泛利用,日本于1990年将本田(Honda)奖授予了扎德教授,以表彰这一新方法论的成功。

20多年来,这一新的数学方法从理论到应用,从软技术到硬技术,都有了很大的发展,得到了越来越多的人的关心和支持,他们迫切希望了解这一新方法的研究与进展。在贵州科技出版社等单位的大力支持下,国际模糊系统协会中国分会(China Chapter of IFSA)和全国模糊数学与模糊系统学会组织编辑了《模糊数学及其应用丛书》。

这套丛书选编了一批学术性较强、应用性较好的模糊数学及其应用的专著,这些专著基本上反映了当前国际和国内水平。这些专著均是执笔者多年研究的成果,反映了当前国际同行的动态,其中多数属国家自然科学基金资助项目和国家863高技术计划项目。

我们相信这套丛书的出版,将对国内外模糊数学及其应用的研究与发展起到很好的推动作用。

刘应明

1991. 9

内 容 提 要

本书分为两部分。第一部分介绍了基本的神经网络模型,包括感知机,反向传播,Hopfield 网络,自适应共振理论,对抗传播网络,认知机和新认知机,双向联想记忆等。第二部分介绍了模糊神经网络,包括模糊神经网络的基本内容及一些重要的模糊神经网络模型。如模糊联想记忆,模糊认知图,神经逻辑网络,神经网络驱动性模糊推理,模糊神经控制模型 L_1 和 L_2 ,神经专家处理器,真值流推理网络。由于本书篇幅的关系,还有些重要的网络模型虽然没有详细介绍,但都在概论中作了简要介绍。各章后附有参考文献。附录 B 是帮助阅读全书的思考题。

本书可供研究模糊神经网络的科技工作者参考,同时也可作为大专院校有关专业的教材。

FUZZY NEURAL NETWORK

Synopsis

This book is composed of Forewords, Introduction, Part 1 and Part 2, Appendix A and B. Part 1 introduces the basic neural network models, including Perceptron, Backpropagation, Hopfield Net, ART, Counterpropagation Networks, Cognitron and Neocognitron, BAM, etc. Part 2 introduces Fuzzy Neural Network (FNN), including the basic contents of FNN and some important models of fuzzy neural networks, such as FAMs, FCMs, Neural-Logic Network (NLN), Neural-Network-Driven Fuzzy Reasoning (NND-FR), The Model L1 and L2 of Fuzzy Neural Control (L1 and L2), Neural Expert processor (NEP), The Truth-Value-Flow Inference Network (TVFIN), etc.

Due to limited space, some other important models of fuzzy neural network are not introduced in detail, but they are mentioned in the Introduction.

Each chapter attaches references. Appendix B is a set of thinking problems which are helpful for readers to understand this book.

This book is one that researches FNN systematically.

FNN is not simple "fuzzy + neural network" but a special noun in this book.

The main purpose of this book is try to set up the frame and direction of development of FNN as a subject branch. On the other hand, this book also introduces some special models of FNN.

As a general concept, fuzzy neuron is defined in this book. Compared with the traditional concept of neuron, the fuzzy neuron has two features. One is the fuzzy neuron operator $(\overset{\wedge}{+}, \overset{\wedge}{\cdot})$ which will replace the former operator $(+, \cdot)$. Another is the output function whose range must be $[0,1]$ or belong to $[0,1]$. Here, the fuzzy neuron operator $(\overset{\wedge}{+}, \overset{\wedge}{\cdot})$ is a kind of new operator, it must satisfy 3 laws:

$$1) \text{ Commutative law; } a \overset{\wedge}{+} b = b \overset{\wedge}{+} a; a \overset{\wedge}{\cdot} b = b \overset{\wedge}{\cdot} a$$

$$2) \text{ Associative law; } a \overset{\wedge}{+} (b \overset{\wedge}{+} c) = (a \overset{\wedge}{+} b) \overset{\wedge}{+} c;$$

$$a \overset{\wedge}{\cdot} (b \overset{\wedge}{\cdot} c) = (a \overset{\wedge}{\cdot} b) \overset{\wedge}{\cdot} c$$

$$3) a \overset{\wedge}{\cdot} 0 = 0$$

For example, $(\vee, \wedge), (+, \wedge), (\wedge, \wedge), (\vee, \cdot), (\wedge, \cdot)$ and $(+, \cdot)$ are fuzzy neuron operators.

Authors also point out that the research of the FNN includes 3 aspects:

a) Choosing some kind of proper fuzzy neuron to express or implement some existing fuzzy theory. Such as, L1 and L2, NEP and TVFIN, etc.

b) Using a kind of fuzzy neuron operator to replace for-

mer operator $(+, \cdot)$. For example, max-min operator network and fuzzy ART are just the results of replacing $(+, \cdot)$ with $(\vee, \wedge)$.

c) Combining the advantages of the fuzzy theory and neural network. For example, using neural networks to generate membership function and the system of generating fuzzy rules adaptively, etc.

Authors also discuss the classification and significance of FNN.

Besides the basic contents of FNN, the recent research results of authors mainly include: Max-min Operator Network and Fuzzy δ -Rule, L1 and L2, NEP and Adaptive NEP, and TVFIN, etc. They may be found in Chapter 10, Chapter 15, Chapter 16, Chapter 17.

编写说明

《模糊神经网络》一书是应中国“模糊数学及其应用”丛书编委会之约而编写的。

据统计,“模糊”和“神经网络”在一些发达国家如日本、美国等是最时髦的两个高新技术名词。在此基础上,也就自然而然地使得“模糊神经网络”成为一个热门话题。模糊与神经网络的结合研究始于1988年,至今已成为一个比较活跃的研究领域。由于模糊神经网络才刚刚起步,还没有发展成熟,所以,现在写这本书可能为时过早,但考虑到模糊神经网络本身发展的需要及广大读者的要求,我们还是推出了这本书。

由于神经网络和模糊数学都是较新的学科,为便于读者理解,所以本书专门用了第一部分介绍基本神经网络模型。本书是“模糊数学及其应用”丛书之一,因此,对基本模糊理论就不再介绍了。但对于落影理论、因素空间、真值流推理,因它们在后面的模型中要用到且其它书一般不会介绍,所以就专门用第九章作了介绍。

无论是神经网络还是模糊神经网络都没有建立起统一的体系,因此,我们采用了专题(每章为一专题)来介绍这些内容。然后在每章后面附上参考文献,这样对读者可能更方便、更真实、更负责。

本书各章独成体系又互相联系。读者可从头读起,也可直接从某一章开始。特别对于已有神经网络基础的读者可直接

从第九章开始阅读。

作者在编写本书时除了参考一些有关的主要的论文(见各章后的参考文献)外,同时还主要参考了 Bart Kosko 的《Neural Network and Fuzzy System》, Philip D. Wasserman 的《Neural Computing Theory and Practice》, Craig Harston 和 Alianna J. Maren 等人的《Handbook of Neural Computing Applications》。在此,谨向这些作者表示感谢。

我们还要特别感谢的是日本松下电器产业株式会社中央研究所的高木英行先生,他不仅自始至终地关心和鼓励本书的写作,并且寄来了不少论文和资料,这对我们的帮助是很大的。

本书的后期工作主要是在北京邮电学院完成的,得到了刘泽民教授、周正教授、周利清副教授、王尧广博士、刘容博士、杨大力博士、吴建华博士、卢峰博士等的帮助,作者在此一并向他们致谢。北京邮电学院图书馆的李小燕女士在资料的收集和整理上给予了帮助,作者在此向她表示感谢。

本书主要由第一作者执笔,后两位作者作为导师给予了适当的协助。

由于时间仓促,作者水平有限,书中一定存在不少错误和缺点,肯请读者批评指正。

作 者

1992年8月于北京

序 言

虽然模糊技术开始于 Zadeh 教授 1965 年的论文,但这项技术直到最近才被全世界所接受。在日本,第一代从事模糊研究的学者 60 年代就发表过这方面的论文。然而模糊技术一直到 1987 年东京 IFSA 世界大会以后才被认为是一项实用性技术。此后大量的学者和工程师相继涌入模糊系统的研究和发展领域。美国工业界是从 1991 年进入这一领域的,到现在这项技术已被认为是美国社会高技术之一。在欧洲,工业界中虽然只有为数不多的几家公司在开发其应用,但每次召开的模糊逻辑专家讨论会却都场场座无虚席。中国在模糊数学方面的研究已经取得令人瞩目的成就。现在到了需要将模糊数学和工程应用结合起来的时候了。

神经网络有类似的研究历史。当研究的主题为感知机 (Perceptron) 时,神经网络的研究曾一度十分活跃。到了 70 年代,许多学者因为感知机的性能较差和只能处理线性问题而中断了研究。后来到了 80 年代,因为 Hopfield 模型在旅推销员问题 (traveled salesman's problem) 中的成功应用以及反向传播 (backpropagation) 算法的提出又使许多学者重返

这一领域中来。现在神经网络研究的学术活动十分频繁,且许多应用神经网络的商业化产品已见诸于市场。目前,有两千多人参加的神经网络国际会议已不再罕见。

正如我们所看到的,由于大量的学者和工程师相继涌入模糊逻辑和神经网络的研究,从而迅速地推动了这项技术的实际应用。在此值得注意的一个事实是:许多介绍性的书籍和课本在吸引研究者和推广这两个领域的研究方面起了非常重要的作用。书籍系统地总结了过去的研究成果,起到了帮助读者理解和鼓励开展未来方向研究的作用。

本书就系统地总结了神经网络这顶基本技术,并且对模糊神经网络作为一个未来研究方向进行了介绍。将神经网络和模糊逻辑相结合的研究开始于1988年。由于研究发展很快,这项技术已经应用于某些消费产品。神经网络的特点是具有学习功能,而模糊逻辑擅长于处理显式逻辑问题。将两者的优点合二为一必进一步开发了这项联合技术的潜力。

我是在1990年中日模糊集合与模糊系统联系会议上结识李晓忠先生的。那时候他就有强烈的愿望想对这一领域进行综述和总结。他当时那种高昂的情绪给我留下了很深的印象。后来我寄给他许多这方面的论文和资料。还有,我对他的两位导师:汪培庄教授和罗承忠教授也印象深刻。我想这本书的写作对李来讲并不是一件很容易的事,但他的两位导师不但没有压止这位年轻人的抱负,反而给予他很大的支持和鼓励,从而最后使我们大家有幸读到了他的著作。

将不同领域联合起来进行研究并不限于神经网络和模糊逻辑。近来的研究已推广到遗传算法、混沌工程和概率推理等领域,且趋于创立一门所谓软计算的新兴研究。虽然这本书的面还没有这么广,但它可望在中国走向这一新潮流中起某些基本的引导性作用。我衷心地希望广大的学者和工程师能以本书为起点,积极开展和推广这一新领域的研究。

高木英行:松下电器产业株式会社·中央研究所

1992年9月写于 University of California at Berkeley

目 录

序.....	(1)
概论.....	(1)
第一节 计算机和人脑.....	(1)
第二节 神经网络的历史.....	(3)
第三节 受到世界瞩目的模糊理论与技术	(13)
第四节 模糊神经网络发展背景与内容	(15)
第五节 研究模糊神经网络的意义	(20)

第一部分 基本神经网络模型

第一章 人工神经网络基础	(30)
第一节 生理神经元	(30)
第二节 人工神经元	(31)
第三节 人工神经网络	(35)
第四节 人工神经网络训练	(40)
第二章 感知机	(45)
第一节 感知机与早期的人工神经网络	(45)
第二节 感知机的表达能力	(46)
第三节 感知机的学习	(55)
第三章 反向传播	(62)