

因素神经网络 理论及 实现策略 研究

刘增良 刘有才 著

北京师范大学出版社

因素神经网络理论及 实现策略研究

刘增良 刘有才 著

北京师范大学出版社

(京)新登字 160 号

因素神经网络理论及实现策略研究

刘增良 刘有才 著

责任印制 唐正才

*

北京师范大学出版社出版发行

全 国 新 华 书 店 经 销

北京怀柔东晓印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：10.25 字数：242 千

1992 年 8 月第 1 版

1992 年 8 月第 1 次印刷

印数：1—1 800

ISBN 7-303-01526-4/Z·12

定价：(平) 7.80 元

内 容 简 介

本书是关于智能工程理论的一部专著,介绍了作者提出的因素神经网络理论及其实现策略研究的部分结果。全书共分十章,第一章作为综述,论述了作者对智能研究与发展中若干基本问题的看法,阐述了在智能科学研究中将模糊逻辑与神经网络结合起来进行研究的重要性,并就作者提出的因素神经网络理论做了简要的概述;第二章作为因素神经网络理论的基础,论述了知识的因素表示理论;第三章讨论了面向对象的因素神经网络的基本概念;第四、五、六三章是本书的主要部分,分别讨论了数值型、集值型、模糊值型三类因素神经网络的一些模型,并研究了其实现策略。第七章探索了因素神经网络的自动机性质;第八章作为因素神经网络稳定性理论的探索,讨论了因素神经网络的熵理论;第九章作为因素神经网络理论的应用,探索了学习型模糊控制系统的因素神经网络实现策略;第十章作为本书的结束语,对本书内容进行了概述,提出了今后的研究方向。

本书适合于大专院校、科研单位从事智能科学、系统科学、计算机科学、应用数学、自动控制等领域学习研究的博士、硕士研究生、高年级大学生和工程技术人员阅读。

目 录

前 言	1
第一章 人工智能与因素神经网络	5
1. 1 有关智能问题的几点看法	5
1. 1. 1 什么是智能与智能系统	5
1. 1. 2 完整智能系统的三要素	6
1. 1. 3 完善智能系统的特征	8
1. 2 智能工程研究的回顾与评述	10
1. 2. 1 符号逻辑推理机制方法	11
1. 2. 2 联接机制方法	13
1. 3 智能工程研究发展的新动向	15
1. 4 因素神经网络理论及其哲学基础	20
1. 4. 1 因素神经网络理论简介	20
1. 4. 2 因素神经网络理论的哲学基础	21
1. 4. 3 因素神经网络理论研究的方法	23
1. 5 本书的结构编排	23
第二章 知识的因素表示理论	26
2. 1 知识、智能及其数学描述	26
2. 2 事物的因素分析	28
2. 2. 1 事物、因素及因素状态	28
2. 2. 2 因素间的关系与运算	32
2. 2. 3 事物的层次结构与	

识别因素 (开关因素)	34
2. 2. 4 事物因素分析的一般步骤	36
2. 3 因素空间及其初步性质	36
2. 4 知识的因素表示	41
2. 4. 1 知识分类	41
2. 4. 2 知识的因素表示模型	42
2. 4. 3 概念的因素表示	44
2. 4. 4 推理、判断的因素表示	49
2. 4. 5 因素推理模式的真值流解释	50
2. 5 知识因素表示的理论基础	52
2. 5. 1 因素状态空间之间的关系	52
2. 5. 2 基于同一因素集上的知识表示	54
2. 5. 3 基于不同因素集上的知识表示	57
2. 5. 4 因素藤网上的知识表示	58
2. 6 小结	60
第三章 因素神经网络	61
3. 1 生物神经元及其微电子特性	61
3. 2 因素神经元	64
3. 2. 1 生物神经元存储信息 与因素方法表现事物的一致性	64
3. 2. 2 因素神经元	65
3. 2. 3 关于因素神经元定义的几点讨论	67
3. 2. 4 几种因素神经元及其几何意义	71
3. 2. 5 几种知识神经元	72
3. 3 因素神经网络	73
3. 3. 1 神经网络与知识因素藤网的拓扑对应	73
3. 3. 2 因素神经网络定义	80

3. 3. 3	关于因素神经网络定义的讨论	81
3. 4	因素神经网络的分类	83
3. 5	小结	85
第四章	单一数值型因素神经网络	87
4. 1	一类 2—FNN 性质及工程实现	87
4. 1. 1	一种二值 FN 定义	88
4. 1. 2	2—FN 的电子实现	88
4. 1. 3	一类 2—FNN 性质研究	96
4. 1. 4	逻辑运算的 2—FNN 实现	102
4. 2	一类 μ —FNN 的性质及实现	111
4. 2. 1	一种连续值因素神经元定义及性质	112
4. 2. 2	任意函数关系的 μ —FNN 可实现性	115
4. 2. 3	μ —FNN 的电子实现	117
4. 2. 4	一类综合决策问题的 μ —FNN 实现	128
4. 3	一类决断推理 μ —FNN 及稳定性	132
4. 3. 1	一类数值型模糊逻辑的 μ —FN 实现	132
4. 3. 2	数值决断型模糊推理的 μ —FNN 实现方法	133
4. 3. 3	μ —RFNN 的动态分析	138
4. 3. 4	推理 μ —FNN 的平衡态	140
4. 3. 5	μ —RFNN 的稳定性	141
4. 4	小结	144
第五章	集值型因素神经网络	146
5. 1	集值型因素函数与集值逻辑	147
5. 1. 1	扩展原理与区间数	147
5. 1. 2	集值因素函数及其 μ —积分模型	149
5. 1. 3	集值逻辑	153
5. 2	一类集值型因素神经元定义及性质	155

5. 3	i—SFN 的电子实现	157
5. 3. 1	i—SFN 与 μ —FN 的性能比较	157
5. 3. 2	i—SFN 的电子实现	158
5. 4	一类区间值不精确推理 (ISAR) 及其 FNN 实现	162
5. 4. 1	基于区间的不确定性知识描述	163
5. 4. 2	组合命题逻辑的清晰度运算	165
5. 4. 3	不确定性集值推理模型 (ISAR)	165
5. 4. 4	ISAR 的 FNN 实现	168
5. 5	不确定性区间值推理网络的学习方法	171
5. 6	小结	174
第六章	模糊值型因素神经网络	175
6. 1	模糊值函数与模糊值逻辑	175
6. 1. 1	扩展原理与模糊数	175
6. 1. 2	模糊值函数	178
6. 1. 3	模糊语言值逻辑	179
6. 2	一种模糊语言值因素神经元	182
6. 2. 1	模糊语言值因素神经元定义	182
6. 2. 2	1—FN 的简单性质	183
6. 3	1—FN 的电子实现	184
6. 3. 1	1—FN 的 i—SFNN 近似实现策略	184
6. 3. 2	一种 $(V, \wedge)$ 型 1—FN 的电子实现	185
6. 3. 3	$(V, \wedge)$ 型 1—FN 的功能分析	188
6. 3. 4	简短结论	193
6. 4	一种动态知识推理网络	195
6. 4. 1	模糊时序知识模型	195
6. 4. 2	动态知识网络	198
6. 5	1—KRFNN 的模式匹配	200

6. 5. 1	模式匹配策略	200
6. 5. 2	时序域的确定	201
6. 5. 3	时序匹配	202
6. 5. 4	语义匹配	204
6. 5. 5	推理方法	207
6. 6	1—KRFNN 的学习算法	208
6. 7	1—KRFNN 的运行机理	215
6. 8	小结	223
第七章	因素神经网络的自动机性质	224
7. 1	有限自动机和模糊自动机	224
7. 1. 1	有限自动机	224
7. 1. 2	模糊自动机	226
7. 2	2—FNN 的自动机性质	228
7. 2. 1	2—FNN 的自动机性质	228
7. 2. 2	2—FNN 的有限自动机分析与实现	230
7. 3	μ —FNN 的自动机性质	234
7. 3. 1	μ —FNN 的自动机性质分析	234
7. 3. 2	μ —FNN 的自动机分析与实现	235
7. 3. 3	模糊自动机的 μ —FNN 综合	239
7. 4.	小结	245
第八章	因素神经网络的熵理论	247
8. 1.	神经网络的动态行为与熵函数	247
8. 1. 1	2—FNN 的熵函数	248
8. 1. 2	μ —FNN 的熵函数	250
8. 2.	因素神经网络的能量函数与熵函数	253
8. 3.	2—FNN 的熵变规律	254
8. 3. 1	同步并行计算中的熵变规律	254
8. 3. 2	异步串行计算中的熵变规律	255

8. 4.	μ -FNN 的熵变规律	258
8. 4. 1	具有多种因素状态 μ -FNN 的熵变规律	258
8. 4. 2	具有随机、模糊性的 μ -FNN 的熵变规律	261
8. 5.	小结	266
第九章	基于 FNN 的学习型模糊推理控制系统	267
9. 1.	模糊推理与神经网络	267
9. 2.	模糊控制系统及其分类	268
9. 2. 1	模糊控制系统	268
9. 2. 2	模糊控制系统的分类	272
9. 3.	语义不定型模糊控制系统的 FNN 实现	275
9. 3. 1	语义表达策略	275
9. 3. 2	系统构成	275
9. 3. 3	网络的样本学习	277
9. 3. 4	语义变化对系统的影响	279
9. 3. 5	系统的联想功能	280
9. 3. 6	简短结论	281
9. 4	关系不定型模糊控制系统的 FNN 实现	281
9. 4. 1	关系不定型系统的特征	281
9. 4. 2	关系不定型 FNN 控制系统的设计方法	283
9. 4. 3	系统构成	286
9. 4. 4	例 1 的 FNN 实现	286
9. 5	小结	291
第十章	结束语	292
参考文献		296

前 言

作为吸引人类关注的四大基本问题（物质的本质，宇宙起源，生命本质，智能发生）之一的智能问题，一直是古今中外许多哲学家和科学家最感兴趣，也是探索和研究最多的问题之一。千百年来，特别是近半个多世纪以来，人们曾分别从哲学、心理学、脑科学、认知学、科学语言学和计算机科学等各个不同的角度，对智能问题进行了众多的研究探讨。但是，由于思维与智能问题的复杂性，智能科学特别是智能工程科学的研究，仍如雾海中的航船，不停地寻求着自己前进的正确方向。为了确定本书的研究方向和写作意图，我们曾经反复思考过这样一些问题：

1. 究竟什么是智能和智能体？智能与智能体最本质的特征是什么？人是典型的智能体，由人组成的团体与社会是不是智能体？它与典型智能体之间有什么样的联系与相似？

2. 作为典型智能体的人具有其特殊的机体机能、本能、知识和智能，其它智能体特别是人工智能体是否都应具有这些特征？如何区别和理解智能体应具有的机体机能、本能、知识与智能？他们在智能体的智能行为中各处于什么样的地位，发挥着什么作用？要建造一个人造智能系统，它应具有什么样的“机体机能、本能、知识与智能”？

3. 智能工程系统，特别是智能机，研究的近期与长期目标究竟是什么？我们希望它们能达到什么样的“智能”水平？是仅限于用它们存储由人输入的知识并按着人为限定的方式来处理知识，从而只是人的“辅助工具”；还是希望它们可“超出”人的控制，可自主地（有限地或无限地）“自我”获取和运用知识，从而成为有一定“自主权”的“机器人”？智能机的“自主”智能行为能否实现？在多大程度上可以实现？

4. 为了制造智能机，实现人工智能，人们已经提出了各种较为成功的理论，开发了各种硬件和软件。现在的问题是，我们能否提出一套完整的智能工程理论，使之可以概括已有的研究成果？如有此可能，那么这种理论应建立在什么基础上？能否走统计物理学的路子，使其在宏观上能与智能体的功能一致，而微观上又能得到脑神经学和心理学的支持？

带着这些问题，我们仔细分析了现有各种智能工程研究成果的优点和不足，在当前实现可能性及今后可能趋势分析的基础上，运用哲学和系统科学的观点，广泛吸取了现代数学，信息论，微电子学和计算机科学中的成果，对现有智能工程理论研究中的各种学说，特别是近期内异常活跃的两大领域——“符号逻辑”人工智能与“联接机制”人工神经网络的相互接近与竞争，传统逻辑与非传统逻辑（特别是模糊逻辑）的相互渗透——进行了较深入的研究探讨，在汪培庄先生提出的“因素空间”思想的启发下，提出了一种智能工程理论中的新模式——我们称之为“因素神经网络理论”。

因素神经网络理论是一种统一的智能工程描述新理论，它以知识的因素表示理论为基础，以人工神经网络为其统一的形式化表示框架来研究和探索智能工程问题，其主要特点是：

<1> 它突出知识的“因素表示”思想，并用其来统一表达知识的表示模式（事物描述模式）和知识的运用模式（决策推理

模式)。

<2> 它以神经元和神经网络为其形式化统一描述框架,形象直观、便于理解,从宏观上和微观上更接近人脑的结构系统和人的思维方式,是智能模拟发展的一个方向。

<3> 它能使已有的用于智能工程实现的符号逻辑推理方法和联接机制方法在模式上统一,便于纳入一个统一的系统框架之内。

<4> 它能统一处理传统数理逻辑与现代非数理逻辑(如多值逻辑、连续值逻辑及模糊逻辑等),达到推理形式的统一。

因素神经网络理论作为一种智能工程理论,我们认为它是很有发展前途的,很值得深入研究。当然,作为其提出人,我们也并不指望它是“万能”的,但至少希望它是“开放”的,能在不断运用与完善的过程中为智能工程科学及智能机的研究发挥出其独有的作用。由于因素神经网络理论刚刚提出,目前还远远不能说完善,有许多理论和实践问题尚需与同仁一起进一步探索改进。本书作为初步的研究结果,还很不全面,阐述中的不当之处,敬请读者能予以指正。

本书是在刘增良同志的博士论文“因素神经网络理论及实现策略研究”基础上改进与完善而成的。在本书理论的构思和形成过程中,我们曾经得到导师——北京师范大学汪培庄教授、罗承忠教授和北京航空航天大学李未教授的悉心指导与热情支持,也得到过吴植翘、袁学海、张建新、曾文艺、李晓忠、李洪兴、阎建平等同学的大力帮助;在本书理论的完善过程中,得到了中国系统工程学会理事长、中国科学院博士生导师许国志教授、《自动化学报》主编、中国科学院博士生导师何善培教授、北京师范大学博士生导师王世强教授、清华大学博士生导师杨福生教授、傅国伟教授、军事科学院朱松春教授、能源部电力科学研究院陈允平高级工程师等多位专家的热情鼓励和支持;在本书出版过程中,又得到了

北京师范大学出版社王文涌社长、林水平主编的大力支持。对以上提到的和没有提到的对本书工作给予支持帮助的所有老师、同学和朋友，作者向他们表示衷心的感谢。

第一章

人工智能与因素神经网络

1. 1 有关智能问题的几点看法

智能科学古老而又年轻，目前正处在方兴未艾、蓬勃发展的时期。人们憧憬智能科学的未来，但是智能研究发展的事实已经证明：“人工智能问题是科学中所遇到的最难的一个”。因此，在深入讨论智能工程理论之前，我们先驻步研究一下有关智能的几个基本问题，这对我们进一步讨论智能工程问题是很有好处的。

1. 1. 1 什么是智能和智能系统

智能概念尚无统一定义但解释很多，诸如：用自己的知识去应付新情况解决新问题的能力；学习能力；预见新问题的能力；创造新的相互关系的能力；抽象思维能力；用智力测验或其它社会标准测量出来的能力等。我国出版的《辞海》[106]写到，“智能是指人认识客观事物并运用知识解决实际问题的能力，主要表现在反映客观事物深刻、正确、完全程度上和应用知识解决实际问题的速度和质量上，往往通过观察、记忆、想象、思考、判断等表现出来”。Fogel 等人则提出“智能是一种有目的地以某种好的

方法使用某个有用的信息的能力。”有用的信息就是知识。其它定义还有种种。

人和高等动物都有智能，这是大家都明白和承认的。我们研究智能的目的之一就是“赋予”机器，用智能机器来完成需要智能才能完成的工作。考虑到这一实用的目的，我们认为从一定意义上讲可以把智能概括为：

能获取存贮知识并运用知识解决问题的能力。

在这种理解的基础上机器智能就是要让机器具有能获取存贮知识并且能够运用知识解决问题的能力。我们把这种具有能够获取存贮知识并且能够运用知识解决问题能力的机器称为智能机。

人们把能实现智能行为的系统称为智能系统。智能系统可分为天然系统和人工系统两大类，人是一个典型的天然智能系统，而智能机则属于人造智能系统。智能工程研究的主要目标，即在于要设法建造出这样一个系统。

1. 1. 2 完整智能系统的三要素

要建造一个人工智能系统，首先要了解智能系统，掌握其要点，分析其构成，然后才有可能模拟建造出这类系统。我们认为，不管是天然智能系统还是人造智能系统，从工程角度看，都应由缺一不可的三个部分构成，这就是：合理的物理结构、完善的知识系统和健全的思维机制。这三个方面我们将其称为智能系统的三要素。

1> 合理的物理结构.

能够实现智能的天然系统和人造系统，都具有一个实实在在的物理结构系统。结构不同，能够实现的智能程度也不同。人的神经网络系统是一种天然的物理结构系统，它是一个完善的系统；猴子的神经系统也是一个天然的物理结构系统；计算机硬件则是一个人造物理结构系统。合理的物理结构系统是智能产生的物质

基础，没有这个物质基础，智能就没有生存之地。所以合理的物理结构系统是智能产生的基本条件之一。

2> 完善的知识系统.

知识是智能的信息资源，它是思维的产物，同时它也是思维的基础。已有的智能研究已经证明，知识是智能的重要组成部分，没有知识的系统很难谈及智能。因此，知识也是智能产生的基本条件之一，而且，对于具有思维和智能的人来说，它通常又是一种“开放系统”。智能体的知识要通过与外界的“信息交流”而获得，也能由于某种原因而“丧失”。一个具有高度智慧的智能体，正是在不断的与外界进行信息交流的过程中（获取与运用知识的过程中）获得和维持其完善的知识系统的。

3> 健全的思维机制.

智能体是一类有“思维”能力的实体，这里，我们将“思维”不等同于一般的知识，认为它是一种动态行为。而一般的知识则常常是这种行为结果的记录，也往往是支持这种行为的资源（能量、信息）基础。关于思维已有许多论述，人们常把它分为无意识思维（下意识）和有意识思维两大类。下意识思维属无意识思维，其特点是智能体本身不能对思维活动进行有意识的控制。智能体本身能够加以有意识控制的思维称为有意识思维。钱学森教授在谈及科学划分时，将无意识思维划归人体科学研究，将有意识思维作为思维科学研究的对象，逻辑思维（或称抽象思维）、形象思维与经验思维、直觉思维（灵感、直感）都属于有意识思维范畴。关于思维与智能的关系，人们恐怕都会承认：智能不能没有思维，没有思维是谈不上智能的。因此，思维作为智能系统的重要特征，是构成智能系统的又一基本要素。

剖析所有的智能系统，不管是天然的还是人造的，不管系统的大与小，不管智能程度强与弱，上述三种要素是基本的，缺一不可。因此我们把智能系统的物理结构、知识系统、思维机制概括为智能系统三要素是合理的。并把智能系统三要素简记为：结