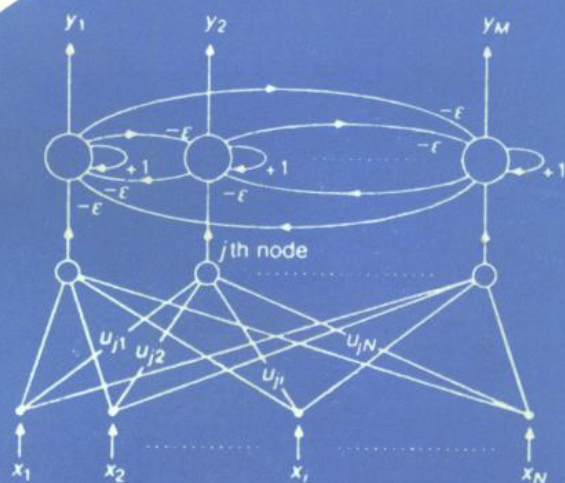


自适应模式识别 与神经网络

(美) 包约翰 著



科学出版社

自适应模式识别 与神经网络

〔美〕包约翰 著

马颂德 张恭清 高雨青 译

胡启恒 校

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是系统地阐述模式识别与人工神经网络的一本专著。全书分为两大部分。第一部分(前四章)阐述基本概念,这一部分不仅为模式识别提供了十分必要的理论基础和各种方法,而且以新的观点论述了它们之间的关系。第二部分与第一部分紧密呼应,阐述了如何用人工神经网络来实现各种模式识别的算法。本书的特点是:全书采用统一的理论体系,各章内容广泛而连贯,包含了各种最新进展和最新见解。本书还具有很浓的多学科交叉色彩。

本书可作为计算机科学专业的研究生及高年级学生的教材或教学参考书,对从事人工智能、认知科学、计算机工程、机器人学、神经生物学、哲学和心理学等领域工作的广大科技人员也有较大参考价值。

Yoh-Han Pao

ADAPTIVE PATTERN RECOGNITION
AND NEURAL NETWORKS

Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989

自适应模式识别与神经网络

〔美〕包约翰 著

马颂德 张恭清 高雨青 译

胡启恒 校

责任编辑 鞠丽娜 李淑兰

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

*

1992 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1992 年 1 月第一次印刷 印张: 10 3/8

印数: 1—2 200 字数: 228 000

ISBN 7-03-002617-9/TP·197

定价: 8.40 元

中译本代序

作为地球上生物中最聪明的现代人类，对于外部世界的认识，已经达到了令人惊叹的高度：宏观，远及亿万光年之大的宇宙；微观，深入于层子、夸克的神奇世界。所有这些光辉的科学成就，无一不是人类运用其智慧和思维，对于客观世界中的信息进行加工的结果。然而，与此形成鲜明对比的事实，是人类对于自身的了解，特别是对于思维和智能的本质的认识，却还处于相当幼稚、肤浅的阶段。

思维能力和智慧是如何产生的？其产生的基础是一些什么样的物理、化学、生理和心理的过程？在我们头脑中的经验和知识，是以何种方式表达、记忆、被检索并被不断修正、扩展和完善的？如果说，智慧和思维也无非是物质及其运动的形式的话，那么，是否应该相信科学技术总有一天会创造出具有与人类完全等同的智慧的机器来？随着科学技术的进步，这些问题正日益吸引着众多不同领域的科学家们，成为困扰他们的最富诱惑力的研究课题，也是对于现代科学技术的最重大挑战之一。

由大约 10^{11} 个神经元细胞及其突触构成的网络，是人脑进行信息加工所凭借的基本结构。神经生理学的研究结果表明，这种网络对于信息的存储和加工，不但是多级、并行、分布式的，具有高度的容错能力，而且具有自行组织和自行发展的适应性功能。神经网络在处理信息的过程中，能在被处理的信息内容的引导下，自行改造其自身的结构及其运行规则。例

如,一个长年累月从事于精细手工操作的人,在其脑的相应区域,可以观察到远比常人更为发达的神经元突触。这既是他的手比常人更灵巧的原因,同时也是他的工作方式对脑不断刺激和训练所造成的结果。

生物神经网络在人脑信息处理过程中的重要地位和它的奇妙功能,使得科学家们在模拟、仿制人的智慧功能时,对于人工神经网络模型给予极大的注意。特别是超大规模集成电路技术的突飞猛进,为人工神经网络的技术实现提供了强大的手段。因此,虽然当前的人工神经网络还只不过是高级生物神经网络的极为简化的近似,但近年来不同领域的科学家们都认为它确实是有重要意义的一种模型,并已各自从不同的角度对其进行了多方面的、广泛而深入的研究。

以冯·诺依曼体系结构为基础的所有的现代超级计算机,在数字运算方面的能力和效率虽早已达到了人脑望尘莫及的程度,却唯独在处理模式信息方面还远不如一个学龄前儿童。为什么人脑是那样适合于处理模式信息?问题的关键看来是与冯·诺依曼结构截然不同的生物神经网络的结构和运行方式。对于正在孕育和期待着重大突破的计算机科学领域,这一事实理所当然地使人工神经网络模型成为备受青睐的研究热点,并使那些正在探求能以高效率处理模式信息的新一代计算机(或“智能计算机”)体系结构的计算机科学家们看见了希望的曙光。

同时,神经网络在自学习、自组织、自联想及容错等方面的非凡能力,使得模式识别领域的科学家们希望能以这种模型为基础,做出以识别结果作为反馈信号而具有自动选择特征能力的自适应模式识别系统;研究联想记忆的专家们也认为有可能从神经网络模型中得到最灵活的联想存储器,不但

能有效地按内容进行检索，而且能够从局部残存的信息联想到整体。

我们有理由相信，人工神经网络是科学发展长河中一个有效的工具。它的出现，使我们在模拟人类智能的研究上攀登上了一个新的高度。但是，向人类智能的逼近将是一个永恒的课题。我们在不断地走近它，然而每当我们登上一个新的高度，就会发现机器所能做到的实在还不能与人的智慧相比。于是更高的峰峦就又会在前面向我们召唤：“到达这里才是智能！”。这个不断发展、前进的过程将层出不穷，永远不会完结。

本书的主要特色正是把在模式识别、人工智能、新一代计算机体系结构等不同领域中，从联想记忆、无监督学习、模糊逻辑、自适应模式识别系统等不同的角度出发所讨论和发展的人工神经网络模型，放到一个更宽阔、层次更高的统一的视野之中。在一个统一的坐标系里，用互相比较、互相关联的方法，从整体上来研究和深化对人工神经网络这一有效的模型的认识，并从不同领域的交流、比较中得到新的启迪，对于这一跨度很大的边缘科学的进一步发展，无疑是非常有意义的。

本书包含了模式识别与神经网络研究的主要内容。本书的第一部分主要讲述模式识别的基本概念与研究方法，第二部分则侧重于讲述神经网络的各种主要模型。由于致力于这两门学科的统一理论框架，这两部分之间又有密切的对应关系。尤其要指出的是，本书第八章关于函数型连接网络的内容反映了作者近年来对神经网络研究的贡献。这种网络提高了输入信息的模式表达能力，并可能成为实现联想存储、有监督学习与无监督学习等各种模式识别方法的统一体系结构。

本书的作者包约翰 (Yoh-Han Pao) 教授, 长期从事于智能自动化系统的研究和教学工作, 早在 80 年代初他就以其敏锐的眼光指出了人工智能、模式识别等互相关联的研究方向的结合、集成, 将是使智能活动机器化、自动化的研究工作发展的必然趋势。

为了将国外在自适应模式识别与神经网络方面的最新研究成果尽快介绍给国内的同行, 我们翻译了包约翰教授的这本新著, 希望此书的出版能进一步推动和促进这方面科研和教学工作的开展。

本书第一章到第四章由张恭清翻译, 第五章到第七章由马颂德翻译, 第八章到第十章由高雨青翻译。全书由胡启恒校阅。由于水平有限, 书中难免有不妥之处, 敬请广大读者给予指正。

胡启恒

1991 年 3 月

前 言

模式识别、人工智能、神经元系统模型的研究均开始于 50 年代。当前的神经计算方法是信息科学的一个领域，其计算模型来自生物神经系统。数字计算机使用高精度的数值算法并定义各种递归函数来进行计算，而神经网络的计算与之不同，它将计算的函数嵌入物理网络之中，也就是说，对计算过程的每一个基本操作都存在与之对应的一个神经细胞（即神经元）或一种连接（即突触连接）。在这个意义上，神经网络更类似于模拟计算机。在模拟计算机中，计算过程（通常是解动力学或最优化问题的计算过程）与计算机硬件有一一对应的关系，硬件由积分器、加法器、乘法器等模拟计算单元组成。

在构造神经系统及其感知功能的理论模型时所碰到的特殊困难是：我们对其基本单元即神经元缺乏确切了解，因此不能完整地定义其基本系统方程。造成这种情况的原因是多方面的。首先，神经元只有在许多心理与化学物质控制下才能正常工作，因此必须在“活”的状态下对它们进行研究。另一方面，每个神经元都有几千个输入，它们具有各种不同的化学性质，我们无法以一种自然的方式把它们强行控制在期望的数值上。因而，直接测量神经元的“传递函数”只能是十分粗糙的，这种粗糙的测量不能提供足够可靠的结果，并以此构造一个复杂系统的理论。人工神经网络研究的特点是：理论家必须猜测或想象其“传递函数”和该自适应系统的方程，运

用常识来构造这些方程,用各种分析函数进行试验,从而来仿真自然现象。这种研究方法有时会引起实验生理学家和实验心理学家的愤怒,但我们别无选择,必须以某种方式将函数形式具体化,否则就无法进行理论研究。著名心理学家 Donald Mackay 在 1986 年对我讲的话是我所听到的对神经系统建模方法的最好的理解,他说:“当你与生物学家讨论时,你可以这样对他说,我们之所以要做一定的模型假设,因为我们确实看到了这些模型能反映自然现象。”

几年来已经出版了不少模式识别书籍,而在神经计算方法方面,虽然也已经编辑出版了一些著作,但是相比之下尚缺乏系统阐述这一课题的教科书,这种教科书应包括基础知识、基本的模型假设以及各种研究成果与应用情况。

包教授自 70 年代早期起就从事该领域的研究,尤其是在分布式联想存储器方面的研究。他致力于用同一个理论框架来对模式识别与神经网络进行描述,这是一个很有前景的课题。本书的中心论题是网络与算法在处理信号和数据时的自适应能力。作者首先讲述了各种决策理论,包括贝叶斯方法与模糊集方法。这就自然地引出了用神经网络实现的判别函数、联想存储器以及自组织系统。最后,书中将各种处理步骤联系起来以构成分层递阶系统,并在语言模式的处理中应用这一理论。

本书无疑可以作为大学高年级学生和研究生模式识别与神经网络课程有价值的教科书。本书也有助于加强该领域的学术研究与应用研究的理论基础。

赫尔辛基技术大学教授

芬兰科学院研究教授

T·科霍南

原 序

写作本书出于以下三个原因。首先，模式识别作为一门学科和一门技术是十分重要的，它有着广泛的应用前景，从而引起了更多人的兴趣。模式识别之所以重要，是因为人类的活动看来都是以模式的形式出现的。语言文字表达、讲话、画图以及理解图象等都涉及到模式。模式的意义不能由它的某一个方面或某几个方面来确定，而要由存在于该模式中的所有部分之间的大量的相辅相成的关系来确定。因此，只有同时考虑模式的所有方面才能抓住该模式的意义。

模式识别不仅对于人类的感知活动很重要，而且对于整个认知过程都很重要。人类处于各种环境中，而环境由各种模式构成，人类根据模式所表达、所预示的含义作出相应的反应。因而，大量的人类经验都来自模式识别的实践活动，模式识别的重要性就在于此。模式识别之所以有用不仅是因为它是人类行为的一个基本组成部分，而且还因为使计算机具备了模式识别能力就可以使用机器来执行感知任务。因此，模式识别研究引起了许多人的兴趣。

写作本书的第二个原因是，模式识别技术通常与各领域的专业知识有密切关系，许多研究领域和学科都对模式识别技术作出了贡献。这一点充分说明了与模式识别有关的研究十分活跃，有相当的深度与广度。然而，各领域的研究人员往往仅局限于各自熟悉的知识范畴。

写作本书的第三个原因是，如果能把有关模式识别的知

识进行互相关联和协调一致的阐述，就能更好地服务于教学和科研工作。如果对当前各有侧重的不同领域的研究工作及它们所取得的结果进行比较和相关的讨论，那么对整个模式识别的研究工作将是特别有帮助的。目前正处于展开这类讨论的十分有利的时机，这是因为许多学科，包括人工智能、认知科学、计算机工程、神经生物学、传统的模式识别、哲学和心理学等，都正在对模式识别的进展作出自己的贡献，然而，虽然这些进展在人工神经网络研究中实现了某种程度的融合，但是在更大范围内的协同配合将是十分有益的。

本书由两部分组成。第一部分阐述基本概念，第二部分讲述自适应模式识别，这种自适应模式识别是由类似生物神经网络方式互连的基本处理器网络实现的。这两部分之间的相互联系反映了本书的基本思想。用神经网络实现模式识别算法的意义，不仅在于神经网络可快速实现递归过程，而且（可能是更主要的）还在于，用神经网络的观点来研究模式信息处理可以激励我们创造性地发现新的方法。而本书第一部分的内容则为新方法的创造指明了方向，并给出了必须遵循的约束条件。

第一章论述模式识别问题的基本性质，比如，模式的描述方法，估计可信度与计算相似性分别用于什么场合？我们还将论述“分类方法”与基于属性值估计的更一般的方法之间的差别。

第二章主要用贝叶斯统计学的观点来讨论模式识别中处理不确定性的基本方法。文中阐明了表面上具有确定性的判别函数实际上也建立在统计方法的基础上。文中还讨论了对贝叶斯方法的批评意见。

人们习惯使用定性符号（即语言）特征和定量特征两种方

式来描述模式，模糊集理论则为它们提供了一种联系。第三章对模糊集理论在模式识别中所起的主要作用作了一个概要性介绍，并以若干例子说明这些作用。

第四章介绍语言模式特征，并介绍这类模式的识别规则如何由归纳学习方法得到。这里介绍 ID3, Pao-Hu 和 Winston 的 M 过程等三种方法。每种方法适宜于不同的场合，ID3 方法效率很高，而 Pao-Hu 方法适于并行处理， M 过程则以建立关于物体描述的语义网络作为识别的基础。

在本书的第二部分，第五章中介绍广义感知机的一种形式及误差反向传播算法。广义感知机是基于推广的 δ 规则的 Rumelhart-Hinton-Williams 前馈半线性多层网络，本章对这种网络进行了详细讨论，介绍了一种在输入模式空间中定义的与空间域有关的张量距离，并以这种距离的观点来解释网络特性。

第六章回顾了联想存储器多年来的发展，包括矩阵和全息联想存储器以及 Hopfield 网络。

第七章简要讨论如何用神经网络计算方法实现无监督学习或聚类算法。

第八章的内容表明，通过对推广的 δ 规则网络的改进能大大提高网络的学习效率和降低系统误差。这种改进利用非线性函数型连接来增强输入模式的表达能力。该章表明，函数型连接网络是联想检索网络、有监督学习网络和无监督学习网络的统一结构。

第九章与前面的第三、四两章相呼应。我们在第三章提出在模式识别中使用模糊逻辑的观点，并强调了在模糊定性概念与定量特征两者关系中隶属度函数的作用。第四章给出了一些定性规则的归纳学习方法，而本章则把模糊逻辑与神

经网络计算方法联系起来。

第十章论述由神经网络实现的自适应模式识别的应用。虽然许多有意义的专门性应用实例值得注意，但是我们仍将注意力放在基本的和一般性的问题上，而不去具体考察那些专门性的应用。该章共论述八类问题，包括如何处理模式的内部结构、可信度、时序概念，以及用自适应模式识别方法解某些相当困难的问题的简便方法。我们还讨论了三个应用领域，主要论述了它们所涉及的问题以及对这些问题的最新见解。本章附有涉及面相当广的参考文献。

对在信息科学方面有工作经验，并愿意了解自适应模式识别、模糊集理论、神经网络计算，特别是有关它们的应用情况的研究人员和工程师，阅读本书是有益的。从事行为科学和生物学研究的人员也会对本书感兴趣，因为该书介绍了当今若干互相关联的计算机科学领域的知识，这些知识的互相结合为他们的研究和进一步发展提供了基础。本书可作为大学高年级或一年级研究生的模式识别课程的教材。由于本书以宽广的视野来介绍模式信息处理方法，因而学生能了解和跟上推动模式信息处理研究领域的一些重要进展。

本书也可作为神经网络计算方法的导论性教材。本书着重介绍信息处理方法、应用及有关的基本概念。

包约翰

俄亥俄州克里夫兰市

目 录

第一章 研究的性质	1
1.1 引言	1
1.2 研究自适应模式识别的动机	1
1.3 用映射描述基于计算机的模式识别	5
1.4 研究的重点	8
1.5 模式识别研究的目标	10
1.6 模式的表达形式	13
1.7 评论及有关文献说明	18
第二章 贝叶斯方法	23
2.1 引言	23
2.2 一般性考虑	25
2.3 训练中所需的知识	33
2.4 在连续分布情况下的系统误差	37
2.5 判别函数的本质及作用	39
2.6 对贝叶斯方法的不同看法	47
2.7 评论及有关文献说明	51
第三章 模糊特征和模糊决策规则: 模糊集方法	55
3.1 引言	55
3.2 基本概念	56
3.3 模糊集运算: 扩展原理	63
3.4 在模式识别中使用模糊集理论	68
3.5 评论及有关文献说明	79
第四章 具有非数值特征值的模式	81
4.1 引言	81
4.2 ID3 方法	83

4.3	Pao-Hu 方法	91
4.4	M 过程方法	97
4.5	评论及有关文献说明	106
第五章	广义感知机	109
5.1	引言	109
5.2	线性判别函数	110
5.3	半线性前馈网络、误差反向传播及推广的 δ 规则	117
5.4	前馈多层网络复杂性分析	125
5.5	用“映射”解释多层网络	127
5.6	评论及有关文献说明	134
第六章	联想存储器	137
6.1	引言	137
6.2	矩阵联想存储器	141
6.3	全息存储器	144
6.4	Walsh 联想存储器	149
6.5	联想存储器网络	152
6.6	评论及有关文献说明	162
第七章	自组织神经网络	167
7.1	引言	167
7.2	MAXNET 网络	170
7.3	能揭示聚类结构的网络	174
7.4	Kohonen 关于有序映射的研究	179
7.5	评论及有关文献说明	189
第八章	函数型连接神经网络	192
8.1	引言	192
8.2	非线性连接的函数变换	194
8.3	函数型连接网络的数学基础概要	199
8.4	函数型连接网络的监督学习	202
8.5	监督学习和无监督学习的结合	210

8.6	联想存储及检索	212
8.7	评论及有关文献说明	215
第九章	符号和子符号处理: 模糊逻辑、模式识别和神经网络的作用	217
9.1	引言	217
9.2	隶属度函数的网络表达	218
9.3	扩展原理的模拟	223
9.4	模糊推理	226
9.5	评论及有关文献说明	229
第十章	自适应模式识别应用中的问题	230
10.1	引言	230
10.2	模式内部结构的处理	231
10.3	对语言符号的处理	241
10.4	语言符号模式中结构的处理	245
10.5	变化的可信度	249
10.6	估计与分类	250
10.7	输入和输出之间的时间相关	252
10.8	用自适应模式识别解决真正难题的可能性	253
10.9	评论及有关文献说明	257
附录 A	监督学习的推广的 δ 规则网络程序	261
A.1	引言	261
A.2	程序	261
A.3	例子	277
附录 B	揭示聚类结构的无监督学习	280
B.1	引言	280
B.2	程序	280
B.3	例子	286
	参考文献	288
	索引	303

第一章 研究的性质

1.1 引言

由于并行分布式处理与传统模式识别方法的结合，出现了一种新的、与以往方法不同的、更有效的方法，这就是自适应模式识别方法。这种方法与其它一些研究工作有联系。例如，它就是神经网络计算方法的主要组成部分。当然，神经网络计算方法并非都属于自适应模式识别的范畴。它与人工智能之间也存在着特殊和重要的联系。

本章是引论。我们要对研究模式识别和自适应模式识别的动机，分别作一般性的和具体的介绍。然后，我们将介绍模式识别的一些基本内容，它们是正确理解模式信息处理基本概念的核心内容，它们的重要性随着模式识别的深入进展而变得更为明显。

1.2 研究自适应模式识别的动机

在这一节，我们要对模式识别作一般性介绍，并对自适应模式识别作具体介绍。通过这些介绍，我们可以看出，这些学科中所采用的方法与其它信息处理学科所采用的方法既有区别，又是相互补充的。

我们这个世界上的种种事物，往往不能由一些或一组孤立特征来确定，而需要用相互关联的特征所组成的模式来