

模式识别与神经网络

殷勤业 谈正等 编译
杨素凯

机械工业出版社



模式识别与神经网络

殷勤业 杨宗凯 编译
谈正 陈陵

(国家自然科学基金资助)



机械工业出版社

(京) 新登字054号

本书结合国内情况, 在 Yoh-Han Pao 编写的《自适应模式识别与神经网络》的基础上, 综合国内的一些资料编译而成。本书更适于国内广大读者对这一新兴学科的学习和理解。书中着重介绍了模式识别和神经网络的基本概念、原理、准则、方法和应用方面的知识。采用统一的理论体系, 讨论了两者的关系。主要内容包括: 模式性质、统计模式识别、模糊集合理论及方法、非数值特征的模式识别、神经网络简介、BP算法、联想存贮及Hopfield网络、自组织网络以及用神经网络实现自适应模式识别的若干方法。书中还介绍了该领域的一些新研究成果和新近的发展动态, 并提供了几种实用算法程序。

本书内容新颖, 概念清晰, 既有理论分析推导, 又给出了相应的实用程序。编译中加入的章节使之更适合国内读者。可作信息学科和自动化学科研究生和高年级大学生的教材, 亦可供从事上述领域工作的研究人员和工程技术人员参考。

模式识别与神经网络

殷勤业 杨宗凯 编译
谈正 陈陵

*

责任编辑: 刘思源 版式设计: 冉晓华
封面设计: 刘代 责任校对: 熊天荣
责任印制: 路琳

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码: 100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $10^{5/8}$ · 字数 229 千字
1992年9月北京第1版·1992年9月北京第1次印刷
印数 0001-3100 · 定价: 8.90 元

*

ISBN 7-111-03366-3/TP·165

编译者的话

当前，信息处理、模式识别及人工智能等领域大多依赖于冯·诺曼结构原理的串行式计算。尽管数十年来，计算机的迅速发展，使得它无论是在运算速度上，还是精度和可靠程度等方面都是人工所无法比拟的。但在某些情况下，特别是在人工智能和模式识别涉及的研究领域，计算机的形象思维能力与人类相差甚远。人们对十分复杂的物体可以不加思索，一目了然地予以识别，但即使较为简单的物体，用先进的计算机来识别它也非常艰难，甚至显得无能为力。

80年代以来，随着神经学家对大脑信息处理的深入了解，以及计算机科学和人工智能发展的需要，以非线性大规模并行分布式处理为主流的神经网络系统得到了迅速发展，用神经网络的方法来研究模式识别，以及用神经计算结构来实现模式识别和人工智能系统，这已成为该领域研究的热点。由于它抛开了传统的计算结构和相应算法，采用了生物神经网络的模型，所以它能够较好地解决上述模式识别和人工智能中提出的问题。

神经网络本身的特点及其在结合模式识别和人工智能等其它领域的研究过程中表现出来的强大生命力也同样受到国内学者和有关研究人员的极大关注。1987年以后，国内的一些院、校和科研院、所均已先后投入大量人力积极开展神经网络方面的研究。其中在将神经网络用于模式识别方面的研究已取得了不少成果。随着研究工作的广泛开展和不断深入，各高等院校和研究机构迫切需要模式识别与神经网络系

IV

统论述的专著和教材。目前这方面的专著在国内还不多，而教材则更少。著名神经网络专家 Kohonen 教授极力推荐 Y. Pao 教授编写的《自适应模式识别与神经网络》一书，它的确是美国各大学颇受欢迎的研究生的教材。为此，我们以该书为主线，根据国内实际情况，对原著中部分章节做了适当补充和删减，并综合了国内的部分资料编译了这本书。希望能成为高等院校有关专业研究生和高年级大学生的教材或教学参考书，并对从事该领域工作的研究人员和工程技术人员有所帮助，对推动我国模式识别与神经网络的研究和应用起到一定的积极作用。

本书共十一章，前四章及后六章的主要内容与原著大体相同，考虑到国内有关神经网络的专著或教材还不多，而各院校目前还无法专门开设有关神经网络的前序课程，我们在编译过程中新插入了第五章：神经网络概述，作为前四章模式识别过渡到后六章神经网络内容的桥梁。该章的加入对拓宽读者的知识面也十分有利。

本书在编译过程中，康华光教授和邹理和教授给予了大力支持和帮助，也得到了国家自然科学基金和博士点基金的资助，谨此致谢。

本书的序言、前言、第四章、第七章和第八章由殷勤业编译，第一章、第三章和第九章由谈正编译，第二章、第五章和第六章由杨宗凯编译，第十章和第十一章由陈陵编译，殷勤业负责全书的审校和统稿工作。由于我们水平有限，编译中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编译者
于西安交通大学

前 言^①

模式识别、人工智能及神经网络模型的研究都具有从本世纪 50 年代起步的共同历史。现代神经计算技术是属于信息科学的范畴，这个领域的模型来自生物神经系统。传统的数字计算机是利用高精度的数值算法，反复执行明确定义的各种功能。而与此不同，神经网络将计算功能植入其物理网络本身之中，在这里每个基本运算都由神经元或连接突触来实现及完成。在这一意义上讲，神经网络与模拟计算机更为类似。在模拟计算机中，我们利用了积分器、累加器和乘法器等模拟计算元件，将问题结构（常常是动态或最优化性质的）一一对应地转移到计算机硬件中去。

构造神经系统及感知功能系统理论模型的特殊困难之一是：目前，我们还无法准确地认识作为系统基本单元的神经元，从而无法完备地定义基本的系统方程。这其中有几方面的原因：首先，由于生物神经细胞只有在多种心理和化学的控制下才能正常活动，所以只能用活体对它进行研究。另一方面，对于每个神经细胞就有成千个不同的生化激励输入，所有这些都无法按常规方法控制在期望的数值范围内。因此，对神经元传递函数的直接测量只能是很粗略的。这样我们用于构造复杂系统理论的基础也许就不十分可靠。理论工作者也就不得不想象、推测这种基本传递函数和自适应系统

① 为使读者了解Yoh-Han Pao原书的概况保留了前言和原序——编译者。

方程的形式，然后根据他们的共识来建模，并用不同的解析函数进行实验，以再现貌似自然的现象，这是人工神经网络研究工作的特点。这种方法曾一度引起实验生理和心理学家们的恼怒，但除此以外，我们还能干什么呢？以某种方法去具体构造函数是完全必要的，否则理论研究工作将无所适从。著名的心理学家 Donald Mackay 所采用的方法，是我所见到的最好的神经网络模型研究方法；他在 1986 年曾对我说：“面对生物学家，你应该说：如果一个人提出某些模型假设，他就应该看到这些貌似自然的现象。”

近年来，模式识别的书籍已大量出版，令人失望的是：尽管神经计算的书籍也已出版了很多，但教科书却很少。教科书应该很系统地涉及从学科背景、基本模型假设到各种结果及应用的论证和示范。

Pao 教授从七十年代初以来一直从事该领域的工作，专长于分布联想存贮的研究。他早有将模式识别和神经网络写入同一本书的雄心。本书的主题是网络和算法对信号和数据的自适应。作者首先阐述了各种决策理论，如：贝叶斯准则及模糊集合理论。然后，自然而然地引出了决策函数、联想存贮及自组织的神经网络实现。最后，各种处理步骤被联结起来以便实现分层系统，并将语言模式引入该理论。

本书肯定将为高年级大学生和研究生在模式识别和神经网络学科中提供一本宝贵的教材，也将成为从事理论和实际科研工作人员的良师益友。

T. 科霍恩 (Teuko Kohonen)

赫尔辛基技术大学 教授

芬兰科学院 科研教授

原 序

本书的写作和出版基于三个因素。首先模式识别是一门十分重要、实用而又有趣的学科和技术。它之所以重要，是因为人类本身的存在似乎就采取了某种模式。无论是语言的组成，讲话的语调，图画的绘制，还是人们对影象的领会都涉及到许多模式问题。通常，我们无法从模式的一个方面或几个方面的现象来确定该模式的意义。迥异于上述情况，在模式的各方面中，大量的相互补偿是存在的。因此，只有在同时考虑了所有各方面后，才能真正掌握和领悟模式的意义。

模式识别之所以重要，不仅表现在人类的感觉上，而且显示在其认识上。人类不仅能用环境模式来估计各种趋势，而且能根据环境模式所可能代表或预示的信息去采取行动。因此，最终模式识别之所以重要是因为在人类的经验中，就涉及到许多属于模式识别的实践。它之所以有用，不仅因为它已内在成为人类行为的必要部分，而且因为计算机的模式识别还能使机器执行有感知的任务。模式识别的研究工作也是十分有趣的，而这是人们内心的意识。

第二个因素是模式识别知识往往是高度专业化的。许多不同研究领域和各个学科都向这一领域做出了大量贡献。这本身就是一个健康的标志，也说明了对本课题兴趣的深度和广度以及协同开展研究工作的活力。同时，研究集团间的紧密联系，也有利于研究者们知识交流。

如果对有关模式识别的知识有一个更连贯和系统的论述，那么将会为模式识别的研究和教学工作创造更良好的环境。这就是本书写作的第三个因素。运用相关领域研究成果的讨论，将特别有助于推动整个模式识别领域的研究工作。目前各个学科，如：人工智能、认识科学、计算机工程、神经生物学、传统的模式识别、哲学及心理学，都正在对模式识别的发展作出贡献。因此，现在开展这场讨论是很及时的。近年来上述各学科的协调发展在相当程度上是依赖于神经网络研究的深入。显然，各学科之间更广泛的协作，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；第二部分涉及由基本处理网络实现的自适应模式识别系统，这里的网络以类似于生物神经网络的方式相互联结。全书内容的安排侧重于上述两部分的相互作用。人们对用神经网络实现模式识别算法之所以感兴趣，不仅是因为神经网络可以迅速完成迭代过程，而且，也许更主要的是因为在模式信息处理方面的神经网络观念启迪了我们，使我们更富有创造力地去想象和构造新的方法。本书第一部分内容就为我们新的创造力提供了指导和制约。

第一章论述了模式本身的性质，即模式是如何被描述的？在什么情况下我们涉及到估计置信度或估计相似度的问题。同时，我们也讨论了分类工作和更为普遍的估计属性值工作之间的差别。

第二章考虑了如何处理模式识别中的非确定性问题，处理这类问题主要依据贝叶斯统计观点。我们也描述了如何根据统计的观点处理貌似确定性的分类问题。同时，我们还介绍了贝叶斯方法准则。

模糊集合理论能够为人们所愿意接受的定性描述和定量测量之间提供相互联系的方法。在第三章中包括了与模式识别相关的模糊集合理论中突出部分的一些梗概，还收入了几个例子，以显示其在模式识别中能发挥的作用。

进入语言特征描述领域，我们在第四章中讨论了用于此类模式识别的诱导学习规则是怎样运行的。这里我们介绍了三种方法：ID3，Pao-Hu 以及 M 方法。它们各自适用于不同的情况。ID3 方法效率高；Pao-Hu 法适用于并行处理；M 法对目标创造了一种语义网描述，做为识别的基础。

在第二部分，第五章描述了一种广义感知机，主要是基于广义 δ -法则和后向传播误差的 Rumelhart-Hinton Williams 多层半线性前馈网络。本章仔细研究了这种网络的作用，并在输入模式空间以综合一种新的空间相关张量测度的观点对其进行分析。

第六章回顾了联想存贮近年来的发展。这包括矩阵和全息联想存贮，以及 Hopfield 网络。

第七章简单地讨论了如何运用神经网络计算进行无监督学习和聚类。

第八章介绍了一种改进的广义 δ -法则，展示了它是如何大幅度提高学习速率并减少系统误差的。这种改进包括使用非线性函数连接增强对输入模式的表示。我们也证明了这种函数连接网络统一了许多用于联想、监督学习和无监督学习的网络结构。

第九章与第三、四章相呼应。在第三章中我们讨论了模糊逻辑在模式识别中的应用，强调了联系含糊定义的定性概念和定量测量的隶属函数的功能。在第四章中我们定性地介绍了几种用于诱导学习规则的方法。现在在第九章中，我们

将模糊逻辑和神经网络计算联系起来。

第十章阐述了应用神经网络实现自适应模式识别。虽然有许多有趣而特殊的例子值得引起注意，但我们还是将注意力集中在一些基本而又普遍的问题上，而不去考察那些特殊应用。这里阐述了八个问题，包括如何处理模式的结构、置信度、时间概念以及对一些难度极高的问题用自适应模式识别方法简单求解的可能性。我们也讨论了三个应用领域，主要是把涉及的问题和最新技术联系起来。书中也提供了广泛的参考文献。

本书对那些已具备信息处理硬件经验，并希望对自适应模式识别、模糊集合理论以及神经网络计算等领域，特别对应用方面有进一步了解的科学家和工程师们将有所帮助。本书对行为和生物科学的研究人员也将是很有兴趣的，因为它阐明了几个相关的计算机学科知识是怎样相互啮合，为实践和进一步推动科研工作的发展奠定了基础。该书可以作为高年级大学生或一年级研究生的模式识别课教材。它以更广阔的观念来审视模式信息处理，因此学生应当掌握和跟踪那些影响模式信息处理的数个研究领域的重要进展。

最后，本书也可以用作神经计算方面的入门课程教材。它侧重于阐明信息处理问题的基本概念及其应用。

Cleveland, Ohio

Yoh-Han Pao

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 研究模式识别的目的	1
1.3 用不透明和透明映射描述 计算机模式识别	5
1.4 任务的焦点	8
1.5 模式识别的任务	10
1.6 模式的表达格式	13
1.7 评述	18
1.8 参考文献	21
第二章 贝叶斯决策理论	24
2.1 引言	24
2.2 一般问题	26
2.3 训练要求的知识	34
2.4 连续分布情况下的系统误差	38
2.5 决策函数的性质和规则	40
2.6 贝叶斯方法的评论	48
2.7 评述	52
2.8 参考文献	54
第三章 模糊特征及判据: 模糊集方法	56
3.1 引言	56
3.2 基本概念	57
3.3 模糊集运算: 扩展原理	64
3.4 模糊集理论在模式识别中的应用	69
3.5 评述	80

3.6 参考文献	81
第四章 非数特征值模式	83
4.1 引言	83
4.2 ID3 方法	85
4.3 Pao-Hu 方法	93
4.4 M方法	100
4.5 评述	108
4.6 参考文献	111
第五章 神经网络概述	113
5.1 引言	113
5.2 人工神经网络模型	115
5.3 学习规则	119
5.4 神经网络与其它的信息处理方法	122
5.5 神经网络的应用	128
5.6 评述	130
5.7 参考文献	133
第六章 学习决策函数: 广义感知机	136
6.1 引言	136
6.2 线性决策函数	138
6.3 前馈网络的广义 δ 规则	143
6.4 对前馈网络的复杂性要求	153
6.5 映射观点	156
6.6 评述	161
6.7 参考文献	163
第七章 基于部分线索的识别和回忆: 联想存贮	165
7.1 引言	165
7.2 矩阵联想存贮	169
7.3 全息存贮	172
7.4 Walsh联想存贮	177

7.5	网络联想存贮	180
7.6	评述	191
7.7	参考文献	194
第八章 模式识别的自组织网络		197
8.1	引言	197
8.2	MAXNET	199
8.3	发现聚类结构的网络	204
8.4	Kohonen对有序映射的研究	210
8.5	评述	221
8.6	参考文献	222
第九章 函数联接网络: 集成神经网络计算环境的基础		224
9.1	引言	224
9.2	非线性联接上的函数变换	226
9.3	函数联接网络的数学基础简介	231
9.4	函数联接网络用于有监督学习	234
9.5	有监督学习和无监督学习的结合	242
9.6	联想存贮和恢复	244
9.7	评述	248
9.8	参考文献	249
第十章 符号和非符号处理的联系: 模糊逻辑、模式识别和神经网络的作用		251
10.1	引言	251
10.2	隶属度函数的网络表达	252
10.3	扩展原理的建模	257
10.4	模糊推理	259
10.5	评述	263
10.6	参考文献	263
第十一章 自适应模式识别的应用		264

11.1	引言	264
11.2	对模式内结构的处理	265
11.3	对语言符号的处理	274
11.4	对语言符号模式中的结构处理	278
11.5	具有可变置信度的联想	282
✓ 11.6	估计与分类——对精度的要求	284
11.7	输入与输出的时间关系	285
11.8	用自适应模式识别解决困难问题的可能性	286
11.9	评述	290
11.10	参考文献	293
附录 A	用于监督学习的广义 δ 规则网络程序	297
A.1	简介	297
A.2	程序	297
A.3	举例	313
附录 B	基于发现聚类结构的无监督学习	317
B.1	简介	317
B.2	程序	317
B.3	举例	324

第一章 绪 论

1.1 引言

在传统的模式识别中引入了并行处理后，出现了一种和原先有所区别、更富有生命力的新方法，这就是自适应模式识别。这一方法和当前的一些前沿学科有着十分密切的联系。例如，自适应模式识别可视为神经网络计算研究的一个主要方面，但又并不是所有的神经网络计算均属于自适应模式识别。此外，它和人工智能也有着特殊的关系。

本章将一般地描述研究模式识别的动机，特别讨论研究自适应模式识别的目的。还将介绍模式识别的几个基本方面，这些方面都有助于对模式信息处理的基本概念有一个较好的了解。随着模式识别能力的提高，它们的重要性将随之增加。

1.2 研究模式识别的目的

这一节将泛泛地讨论模式识别，而侧重于自适应模式识别。这样我们将会看到这些训练方法的特色以及它们对其它信息处理的补充。

我们不能依据单个孤立事件或一组孤立事件来看待这个世界。更确切地说，我们发现需通过有内在联系的事件的若干模式来描述情况。有时，当我们所知的全部事件都附属于相同的目标或情况时，这些内在关系是含蓄的。在另一些场合，则认为模式的各特征间的明显关系存在时，模式才有意义。

观察人类的感知能力对我们很有启发，人类的感知能力似乎能很好地适应这种模式处理任务。例如，能识别讲话的语调，对诸如手写体一类的图象，即使在变异、失真、缺损时仍能有效辨识。一个与此关联的特性是人们可仅根据局部模式的联想提示来恢复出完整的信息。数个音符能唤醒人们对完整乐曲的记忆。在人群中偶而回头一瞥，能使我们回忆起老朋友的详情。

这种处理具有联想模式的能力不仅能在感知中发现，而且也明确地在感知、认知的任务中体现。这似乎像是自然规律：信息以模式形式呈现，而人类似乎十分适应这一环境。

研究模式识别的目的之一在于期望对人类这种能力的了解。还有一个强烈的工程实用目的。由于我们知道如何制造计算机来帮助我们工作，我们努力使它们智能化，从而使它们能和我们的规范行为更为吻合。我们期待拥有感知和识别能力的计算机机器。期望这类机器能理解人们所说、所写的，乃至能以直觉可理解的方式来响应。换句话说，我们想要建造的是具有与人类处理事务相类同的模式信息处理能力的机器。这将便于我们运用机器，并使机器在处理实际外部世界的事务时更为有效。

人机结合要求我们更好地理解模式化信息处理。传统模式识别就提供了这样的理解，其它学科如人工智能、心理学、神经生理学等的研究也为实现这一目标而努力。

为了对自适应模式识别有更清楚的理解，我们将在传统人工智能和传统模式识别这两方面进行考察。这两方面的研究是有若干共同的目标，其中最重要的一点都是对人类感知和认知过程的“理解”，并在机器中实现与人类相同的能力。这两种学科虽有共同的起点，但在以后的发展中，两者