

新编MATLAB工程应用丛书

2014b

应用MATLAB 实现神经网络

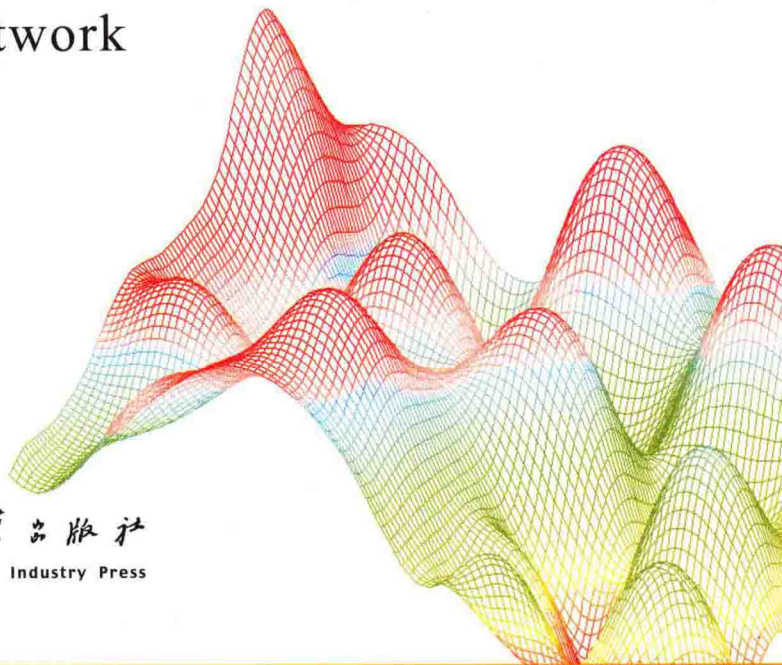
■ 闻新 李新 张兴旺 等编著

The Application of MATLAB
Neural Network



国防工业出版社

National Defense Industry Press



新编 MATLAB 工程应用丛书

应用 MATLAB 实现 神经网络

闻新 李新 张兴旺 编著
朱亚萍 张文浩 秦钰琦



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共分为9章。主要内容包括人工神经网络概述和 MATLAB 基本用法介绍、MATLAB 神经网络工具箱的基本用法和应用实例;介绍神经网络工具箱函数的功能和实用方法,包括感知器、线性神经网络、BP 网络、径向基网络、自组织竞争型神经网络、自组织特征映射神经网络、Elman 神经网络、Hopfield 网络、联想记忆网络的应用、图形用户接口。自定义神经网络、神经网络在工程中的应用等内容。

本书可作为高等院校计算机、电子工程、控制工程、通信、数学、力学、机械和航空航天等专业学生的参考教材,对从事上述领域工作的广大科技人员具有重要的参考价值,对学习神经网络及其仿真技术的读者来说,也是一本有价值的入门指导书。

图书在版编目(CIP)数据

应用 MATLAB 实现神经网络/闻新等编著. —北京:国防工业出版社,2015. 6

(新编 MATLAB 工程应用丛书)

ISBN 978 - 7 - 118 - 10014 - 3

I. ①应... II. ①闻... III. ①Matlab 软件 - 应用 - 神经网络 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 040641 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 24¼ 字数 461 千字

2015 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 59.90 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

MATLAB(MATrix LABoratory)仿真软件自1984年由美国的Math Works公司推出以来,历经30多年的实践检验、市场筛选和时间凝炼,已经成为科学研究、工程技术等众多领域最可信赖的科学计算环境和标准仿真平台,成为高等教学必须传授的学习和计算软件。1993年后MATLAB相继推出了MATLAB 4.x、MATLAB 5.x等基于Windows系统的版本,可以充分利用Windows系统资源。

人工神经网络是由大量简单的神经元相互连接而成的自适应非线性动态系统。人工神经网络包括神经网络模型结构与神经网络学习算法,是在细胞的水平上模拟大脑结构和大脑功能的科学。人工神经网络模型结构与人工神经网络学习算法两者相互联系,人工神经网络模型结构是人工神经网络学习算法的前提,而人工神经网络学习算法是人工神经网络模型结构中神经信息运动或演化的过程。

MATLAB中所配置的Neural Network Toolbox,将神经网络各领域研究的成果完整地覆盖,它以神经网络理论为基础,使用MATLAB语言构造出典型神经网络的激活函数,如S型、线性、竞争层等激活函数,使设计者对所选定网络输出的计算,变成对激活函数的调用。另外,根据各种典型的修正网络权值的规则,加上网络的训练过程,用MATLAB编写出了各种网络设计与训练的程序,网络设计者可以根据自己的设计去调用相关网络的设计训练程序,这样能够使自己从繁琐的编程中解脱出来,集中精力去思考问题和解决问题。

本书以MATLAB R2014b为平台编写,重点介绍了神经网络理论及其实现方法、神经网络背景及其MATLAB工具箱函数。同时从各领域精选了丰富的典型应用实例介绍解析函数的使用方法,在实例中强调

了如何使用 MATLAB 神经网络工具箱解决实际中的问题、难题。这旨在使读者对各类常用人工神经网络的基本原理和学习算法进一步加深理解,熟悉其主要功能,了解其主要应用,为设计各类神经网络打下坚实的基础。

在调试书中的程序时,得到了许多学生的帮助,他们是南京航空航天大学航天控制系的王浩、强鹏、牛德森、张浩、张帆,以及沈阳航空航天大学工程力学系的成金鑫、吴鼎和陆信乾。

本书中所有涉及的程序,都可在国防工业出版社官方网站 <http://www.ndip.cn>,以及作者闻新的博客 <http://blog.sina.com.cn/u/5535140995> 免费下载。

本书在编写过程中,参阅了国内外很多相关书籍,另外,本书的出版也得到了国防工业出版社的大力支持,在此一并表示深深的感谢。

由于作者水平所限,书中不足和错误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

作者

2014 年 10 月

目 录

第 1 章 神经网络概述及 MATLAB 介绍	1
1.1 人工神经网络基本知识	1
1.2 神经网络的发展历程	2
1.3 神经网络研究及其应用	5
1.4 神经细胞与人工神经元	6
1.4.1 生物神经元的特点	6
1.4.2 人工神经元模型	7
1.5 神经网络的分类	9
1.6 神经网络的学习训练	11
1.7 MATLAB 入门学习	13
1.7.1 MATLAB 的发展史	13
1.7.2 MATLAB 的功能	14
1.7.3 MATLAB 的语言特点	15
1.8 MATLAB 用户界面	16
1.8.1 MATLAB 的启动和退出	17
1.8.2 MATLAB 工作环境	17
1.9 MATLAB 的数值与变量	23
1.9.1 MATLAB 的数值	23
1.9.2 MATLAB 的变量	24
第 2 章 感知器神经网络	28
2.1 单层感知器	28
2.1.1 单层感知器模型	28
2.1.2 单层感知器功能	30
2.1.3 单层感知器神经网络结构	33
2.2 多层感知器	34

2.2.1	多层感知器模型	34
2.2.2	多层感知器设计	35
2.3	感知器的学习算法	36
2.4	感知器神经网络的训练函数	38
2.4.1	感知器创建函数	38
2.4.2	感知器初始化函数	39
2.4.3	感知器显示函数	41
2.4.4	感知器仿真函数	43
2.4.5	感知器性能函数	45
2.4.6	感知器的训练函数	46
2.4.7	感知器的学习函数	48
2.4.8	感知器的传递函数	50
2.5	感知器的局限性	52
2.6	感知器神经网络的应用实例分析	54
2.6.1	判断气体污染物的分类	54
2.6.2	奇异样本对感知器神经网络训练的影响	56
第3章	线性神经网络	59
3.1	线性神经网络模型及结构	59
3.1.1	神经元模型	59
3.1.2	线性神经网络的结构	61
3.2	线性神经网络的学习算法	61
3.3	线性神经网络的构建	63
3.3.1	生成线性神经元	63
3.3.2	线性滤波器	65
3.4	线性神经网络的训练	66
3.5	线性神经网络的训练函数	68
3.5.1	线性网络的创建函数	69
3.5.2	线性网络的学习函数	72
3.5.3	线性网络的传输函数	75
3.5.4	线性网络的权积函数	76
3.5.5	线性网络的初始化函数	78
3.6	线性神经网络的局限性	79

3.6.1	线性相关向量	79
3.6.2	学习速率过大	80
3.7	线性神经网络应用实例分析	84
3.7.1	线性网络在噪声对消中的应用	84
3.7.2	线性网络在信号预测中的应用	87
3.7.3	线性网络实现异或的应用	90
第4章	BP神经网络	95
4.1	BP神经网络模型及结构	96
4.1.1	神经元模型	96
4.1.2	前馈型神经网络结构	97
4.2	BP神经网络的算法与BP网络推导	98
4.2.1	BP神经网络算法	98
4.2.2	BP神经网络的推导	104
4.3	BP神经网络的训练函数	109
4.3.1	BP网络创建函数	110
4.3.2	BP网络神经元上的传递函数	118
4.3.3	BP网络学习函数	124
4.3.4	BP网络训练函数	126
4.3.5	BP网络性能函数	130
4.3.6	BP网络显示函数	133
4.4	BP神经网络的局限性	137
4.5	BP神经网络算法的改进	138
4.6	BP神经网络的应用实例分析	145
4.6.1	利用BP网络去除有关噪声的问题	145
4.6.2	基于BP网络的性别识别	148
第5章	反馈型神经网络	160
5.1	反馈神经网络的概述	160
5.2	离散Hopfield神经网络	163
5.2.1	离散型Hopfield神经网络模型	163
5.2.2	离散Hopfield神经网络的稳定性	166
5.2.3	离散Hopfield神经网络权值的学习	169

5.2.4	离散 Hopfield 神经网络的联想记忆	171
5.3	连续 Hopfield 神经网络	175
5.3.1	连续 Hopfield 神经网络模型结构	175
5.3.2	连续 Hopfield 神经网络稳定性	176
5.3.3	连续 Hopfield 神经网络的特点	177
5.4	Hopfield 神经网络的训练函数	178
5.4.1	Hopfield 网络的创建函数	178
5.4.2	Hopfield 网络的传递函数	179
5.4.3	Hopfield 网络的辅助函数	182
5.5	Hopfield 神经网络应用实例分析	183
5.5.1	二神经元 Hopfield 网络设计问题	183
5.5.2	Hopfield 网络的伪平衡点问题	186
5.5.3	三神经元的 Hopfield 网络问题	188
5.6	Elman 神经网络	191
5.6.1	Elman 神经网络结构	192
5.6.2	Elman 神经网络权值修正的学习算法	193
5.6.3	Elman 神经网络权稳定性	195
5.6.4	对角递归网络稳定时学习速率的确定	196
5.7	Elman 神经网络的训练函数	197
5.8	Elman 神经网络应用实例分析	200
第 6 章	径向基函数神经网络	205
6.1	径向基函数神经网络基本原理	205
6.1.1	径向基函数的结构模型	205
6.2	径向基函数神经网络的学习算法	207
6.2.1	随机选取固定中心法	207
6.2.2	自组织选取中心	209
6.2.3	正交最小二乘法	210
6.3	径向基函数神经网络的训练函数	212
6.3.1	径向基函数网络创建函数	212
6.3.2	径向基函数网络传递函数	216
6.3.3	径向基函数网络转换函数	217
6.3.4	径向基函数网络权函数	219

6.3.5	径向基函数网络输入函数	222
6.4	其他径向基函数神经网络	223
6.4.1	广义回归神经网络	223
6.4.2	概率神经网络	226
6.5	径向基函数神经网络的优缺点	231
6.6	径向基函数神经网络的应用实例分析	232
6.6.1	径向基函数网络用于曲线拟合的问题	232
6.6.2	径向基函数网络用于非线性函数回归的问题	235
第7章	自组织竞争型神经网络	239
7.1	自组织竞争型神经网络的模型及结构	239
7.2	自组织竞争型神经网络的原理	241
7.2.1	自组织竞争网络的学习策略	241
7.2.2	自组织竞争网络的学习原理	243
7.3	几种常用的联想学习规则	244
7.4	自组织竞争型神经网络存在的问题	247
7.5	SOM 神经网络	248
7.5.1	SOM 神经网络的拓扑结构	248
7.5.2	SOM 神经网络的学习算法	249
7.5.3	SOM 神经网络的训练过程	252
7.6	LVQ 神经网络	253
7.6.1	LVQ 神经网络结构	253
7.6.2	LVQ 神经网络的学习算法	254
7.7	自组织竞争神经网络的训练函数	257
7.7.1	自组织竞争神经网络创建函数	258
7.7.2	自组织竞争神经网络学习函数	261
7.7.3	自组织竞争神经网络传递函数	271
7.7.4	自组织竞争神经网络初始化函数	273
7.7.5	自组织竞争神经网络结构函数	273
7.7.6	自组织竞争神经网络距离函数	276
7.7.7	自组织竞争神经网络显示函数	279
7.8	自组织竞争神经网络应用实例分析	283
7.8.1	基于 LVQ 神经网络的人脸朝向识别问题	283

7.8.2	基于 SOM 神经网络的故障诊断分析	288
第 8 章	MATLAB 编程实现神经网络的应用	293
8.1	基于 HBF 网络的自适应状态观测器设计	293
8.1.1	HBF 网络	293
8.1.2	观测器设计	294
8.1.3	仿真验证	297
8.2	基于 RBF 网络的船用柴油机故障诊断	306
8.2.1	故障样本集的收集与设计	306
8.2.2	网络输出向量设计	308
8.3	带有偏差单元的递归神经网络	311
8.3.1	BP 网络及算法的不足	312
8.3.2	带有偏差单元的递归神经网络	312
8.3.3	带有偏差单元的递归神经网络的误差反向传播学习规则的数学 推导	313
8.3.4	带有偏差单元的递归神经网络诊断模型的建立	318
8.4	基于 FCM 优化的 RBF 网络自适应状态观测器设计	322
8.4.1	FCM 优化的 RBF 网络	322
8.4.2	自适应状态观测器设计	323
8.4.3	仿真验证	327
8.5	基于泛函模糊神经网络的 GPS/INS 组合导航系统的软故障诊断	331
8.5.1	状态 χ^2 检验原理	331
8.5.2	泛函模糊神经网络的结构	336
8.5.3	仿真验证	338
第 9 章	神经网络工具箱的使用	345
9.1	自定义神经网络	345
9.1.1	自定义一个简单的网络	347
9.1.2	自定义一个复杂的网络	351
9.1.3	自定义网络的训练	366
9.2	自定义神经网络工具箱函数	369
9.3	自定义神经网络实用的工具箱函数	370
参考文献		376

第 1 章 神经网络概述及 MATLAB 介绍

人工神经网络(Artificial Neural Networks, ANNs), 也简称为神经网络或称作连接模型(Connectionist Model), 它是一种模仿生物神经网络进行分布式并行信息处理的一种数学模型。它以对大脑的生理研究成果为基础, 其目的在于模拟大脑的某些机理与机制, 实现一些特定的功能。人工神经网络依靠系统的复杂程度, 通过调整内部大量节点之间相互连接的关系, 从而达到信息处理的目的。目前, 这种网络已被应用于很多领域。

1.1 人工神经网络基本知识

人脑是宇宙中已知最复杂、最完美和最有效的信息处理系统, 是生物进化的最高产物, 是人类智能、思维和情绪等高级精神活动的物质基础, 也是人类认识较少的领域之一。长期以来, 人们不断通过神经学、生物学、心理学、认知学、数学、电子学和计算机学等一系列学科, 对神经网络进行分析和研究, 利用大脑神经网络的一些特性, 设计出具有类似大脑某些功能的智能系统来处理各种信息, 解决不同问题。

用机器人代替人脑的部分劳动是当今科学技术发展的重要标志。计算机就是采用电子元件的组合来完成人脑的某些记忆、计算和判断功能的系统。在现代计算机中, 每个电子元件的计算速度为纳秒(10^{-9} s)级, 而人脑中每个神经细胞的反应时间只有毫秒(10^{-3} s)级。然而在进行诸如记忆回溯、语言理解、直觉推理、图像识别等决策过程中, 人脑往往只需要 1s 左右的时间就可以完成复杂的处理。换句话说, 脑神经细胞做出决定需要的运算不超过 100 步, 范德曼(J.A.Feldman)称之为 100 步程序长度。显然, 任何现代串行计算机绝不可能在 100 步运算中完成类似上述的一些任务。由此, 人们希望去追求一种新型的信号处理系统, 它既有超越人的计算能力, 又有类似于认知识别、判断、联想和决策的能力。

人工神经网络正是在人类对其大脑神经网络认识理解的基础上人工构造的能够实现某种功能的神经网络。它是理论化的人脑神经网络的数学模型, 是基于模仿大脑神经网络结构和功能而建立的一种信息处理系统。它实际上是一个由大量简单元件相互连接而成的复杂网络, 具有高度的非线性, 能够进行复杂的逻辑操

作和非线性关系实现的系统。

人工神经网络吸取了生物神经网络的许多优点，因而有其固有的特点。人工神经网络具有以下 4 个基本特征：

(1) 非线性。非线性关系是自然界的普遍特性。大脑的智慧就是一种非线性现象，人工神经元处于激活或者处于抑制两种不同的状态，这种行为在数学上表现为一种非线性关系。具有阈值的神经元构成的网络具有更好的性能，可以提高容错性和存储容量。

(2) 非局限性。一个神经网络通常由多个神经元广泛连接而成。一个系统的整体行为不仅取决于单个神经元的特征，而且可能主要由单元之间的相互作用、相互连接所决定，通过单元之间的大量连接模拟大脑的非局限性，如联想记忆就是非局限性的典型例子。

(3) 非常定性。人工神经网络具有自适应、自组织、自学习能力。神经网络不但处理的信息可以有各种变化，而且在处理信息的同时，非线性动力系统本身也不断变化。通常采用迭代过程描写动力系统的演化过程。

(4) 非凸性。一个系统的演化方向，在一定条件下将取决于某个特定的状态函数。如能量函数，它的极值相应于系统比较稳定的状态。非凸性是指这种函数有多个极值，故系统具有多个较稳定的平衡系，这将导致系统演化的多样性。

在人工神经网络中，神经元处理单元可以表示不同的对象，例如特征、字母、概念，或者一些有意义的抽象模式。网络中处理单元的类型分为 3 类：输入单元、输出单元和隐含层单元。输入单元连接外部世界的信号与数据；输出单元实现系统处理结果的输出；隐含层单元是处在输入和输出单元之间，不能由系统外部观察的单元。神经元间的连接权值反映了单元间的连接强度，信息的处理体现在网络处理单元的连接关系中。人工神经网络是一种非程序化、具有自适应和大脑风格的信息处理的算法模型，其本质是通过网络的变换和动力学行为得到一种并行分布式的信息处理功能，并在不同程度和层次上模仿人脑神经系统的信息处理功能。它是涉及神经科学、思维科学、人工智能、计算机科学等多个领域的交叉学科。

人工神经网络是并行分布式系统，采用了与传统人工智能和信息处理技术完全不同的机理，克服了传统的基于逻辑符号的人工智能在处理直觉、非结构化信息方面的缺陷，具有自适应、自组织和实时学习的特点。

1.2 神经网络的发展历程

神经网络经历了曲折的发展历程。它诞生于 20 世纪 40 年代，但在 20 世纪 70 年代后逐渐陷入萧条。20 世纪 80 年代后，随着 Hopfield 反馈网络和自组织网络的提出，神经网络又迎来了发展的春天。

神经网络在 1943 年起源于精神病学家和神经元解剖学家 McCulloch 与数学天才 Pitts 开创性的工作。他们在数学生物物理学会期刊“*Bulletin of Mathematical Biophysics*”上发表的文章提出了神经元的数学描述和结构，这里的神经元假设遵循“全或无”法则。McCulloch 和 Pitts 证明，从理论上说，只要有足够的简单神经元，在这些神经元相互连接且同步运行的情况下，网络能够计算任何已知的函数，这就是 M-P 模型。

1948 年，Wiene 所著的“*Cybernetics*”一书出版，提出了控制、通信和统计信号处理的重要概念，在科学之间抓住了统计方法的物理意义。

1949 年，生理学家 Hebb 出版了“*The organization of Behavior*(行为组织学)”一书，他在书中第一次鲜明地阐述了神经元连接权值的 Hebb 调整规则。Hebb 提出脑中神经元的连接方式在感官学习不同任务时是连续变化的，引入了著名的学习假说，即两个神经元之间的重复激活将使其连接权值得到加强。Hebb 的书后来成为学习系统和自适应系统设计的灵感源泉。试验表明，Hebb 的思想再加上抑制理论成功地实现了模式分类。

1952 年，Ashby 在“*Design for a Brain :The Origin of Adaptive Behavior*(脑的设计：自适应行为的起源)”一书中提出了这样的思想，即自适应行为是从后天学习中得来的，而非与生俱来的。

1954 年，Minsky 在 Princeton 大学撰写了一篇题为“*Theory of Neral-Analog Reinforcement Systems and Its Application to the Brain-Model Problem*”的文章。1961 年，Minsky 又发表了论文“*Steps Toward Artificial Intelligence*”，文中包括了现代神经网络的大部分内容。1976 年，Minsky 出版了“*Computation :Finite and Infinite Machines*”一书，第一次以书的形式扩展了 McCulloch 和 Pitts 在 1943 年的研究成果，并将其置于自动机理论和计算理论的背景中。

1954 年，早期通信理论的先驱和全息照相的发明者 Gabor 提出了非线性自适应滤波的思想，通过把随机过程样本及希望机器产生的目标函数一起提交给机器来进行学习。

1957 年，Rosenblatt 提出了感知器(Perception)的概念。Rosenblatt 在他有关感知器的研究中提出了解决模式识别问题的监督学习新方法。名为“感知器收敛定理”的理论获得了巨大的成功。Widrow 和 Hoff 引入了最小均方误差(LMS)准则，并由此构成了 Adaline(Adaptive Linear Element)的基础。这个准则现在也被称为 Widrow-Hoff 准则。最早的具有多个自适应元件的可训练的分层神经网络之一是 Widrow 及其学生提出的 Madaline (Multi-Adaline)。1967 年 Amari 将随机梯度法用于模式分类。在整个 20 世纪 60 年代，感知器是如此流行，以至于人们认为它可以完成任何事。他们认为只要将感知器互连成一个网络，就可以由此模拟人脑思维。

盲目乐观的情绪并没有持续太久。1969年，Minsky 和 Papert 的“*perception*”一书出版了。该书从数学上证明了单层感知器具有致命的缺陷，即指出感知器的处理能力有限，甚至无法解决像“异或”这样简单的非线性问题。而在多层感知器的讨论中，作者认为单层感知器所具有的限制性在多层感知器中无法被完全克服。神经网络的研究自此进入了萧条期。

然而，对神经网络的研究并未停止。1972年 Teuvo Kohonen 和 James Anderson 各自独自发展了用于记忆的新神经网络。Amari 独立提出了一个神经元的附加模型，并将其用于研究随机连接类似于神经元元件的动态行为之中。Wilson 和 Cowan 推导了包括兴奋和抑制模型神经元的空间局部化的群体动力学耦合非线性微分方程。1977年 Anderson Silverstein, Rits 和 Jones 提出了盒中脑 (Brain State in a Box, BSB)模型，这是一个耦合非线性动力学的简单联想网络。1980年 Grossberg 在早期对竞争学习研究的基础上，创立了自适应共振理论(Adap Resonance Theory, ART)。该理论包括自下而上的认知层和自上而下的生成层。如果输入模式与学习反馈模式相匹配，则系统产生“自适应共振”的动力状态。

20世纪60年代神经网络遭受的质疑均于20世纪80年代被攻克，此后神经网络再次进入了兴盛期。此时，引领这个潮流的有两个模型：Hopfield 网络和用于训练多层感知器的误差反向传播算法。

1982年，Hopfield 用能量函数的思想提出了一种新的计算方法，他引入了含有对称突触连接的反馈网络。他还将该反馈网络与统计物理领域的 Ising 模型相类推，为大量的物理学理论和许多物理学家进入神经网络领域铺平了道路。Hopfield 第一次清楚地阐述了如何在动态的稳定网络中存储信息。同一年另一个重大进展是 Kohonen 的自组织图理论，其中用到了一维或二维的晶体结构。

1983年，Kirkpatrick, Gelatt 和 Vecchi 提出了模拟退火算法，用于求解组合优化问题。Barto, Sutton 和 Anderson 则发表了关于强化学习的理论，将强化学习应用于实际，并验证其可行性。

1984年，Hopfield 使用电子线路实现了他提出的神经网络，指出神经元可以用运算放大器实现。他用电子线路构成的网络成功解决了旅行商(TSP)问题，成为神经网络发展历史上的里程碑。Braitenberg 出版了“*Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*(工具：综合心理学实验)”一书，提出了目标导向的自组织行为准则。

1986年，Rumelhart、Hinton 和 Williams 等人带来了反向传播算法。同一年，Rumelhart 和 McClelland 出版了著作“*Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructures of Cognition*(并行分布式处理：认知微结构的探索)”，指出在通用的多层感知器中进行训练的算法，有力回击了 Minsky 等人的质疑。

1988年，Linsker 在感知器神经网络的基础上提出了一种新的自组织理论，它

用于保持输入行为模式的最大信息，并受突触连接和活动范围的限制，形成了最大互信息理论。这篇论文激发了将信息理论运用到神经网络中的研究兴趣。同一年，Broomhead 和 Lower 使用径向基函数(Radial Basis Function, RBF)设计多层前馈网络。其思想方法可以追溯到 Bashkirov、Braveman 和 Muchnik 提出的势函数方法。1990 年 Poggio 和 Girosi 利用正则化理论进一步丰富了 RBF 网络理论。

20 世纪 90 年代早期，Vapnik 和他的合作者提出了具有强大模式识别能力的网络，称为支持向量机(Support Vector Machine, SVM)。这种新方法是基于有限样本学习理论的结果，它以一种自然的方式包含了 Vapnik-Chervonenkis(VC)维数。VC 维数是神经网络学习能力的一种度量。

1987 年美国电器和电子工程师学会 IEEE 在圣地亚哥召开了大规模的神经网络国际学术会议，国际神经网络学会也随之诞生。从 1988 年开始，国际神经网络学会和 IEEE 每年联合召开一次国家学术年会。我国于 1989 年在北京召开了一个非正式的 NN 会议；1990 年 12 月在北京召开了中国 NN 大会；1991 年在南京成立了中国 NN 学会，由国内 15 个一级学会共同发起“携手探智能，联盟攻关”的“863”高技术研究计划；自然科学基金、国防科技预研基金也都列入了 NN 研究内容。

自 20 世纪 80 年代以来，模拟与数字混合的超大规模集成电路制作技术提高到新的水平，完全付诸实用化，此外，数组化计算机的发展在若干应用领域遇到困难。这一背景预示，向人工神经网络寻求出路的时机已经成熟。随即，一大批学者和研究人员围绕着 Hopfield 提出的方法展开了进一步的工作，形成了自 80 年代中期以来人工神经网络的研究热潮。

1.3 神经网络研究及其应用

神经网络的研究内容相当广泛，反映了多学科交叉技术领域的特点。目前，主要的研究工作集中在以下几个方面：

- (1) 生物原型研究。从生理学、心理学、解剖学、脑科学、病理学等生物科学方面研究神经细胞、神经网络、神经系统的生物原型结构及其功能机理。
- (2) 建立理论模型。根据生物原型的研究，建立神经元、神经网络的理论模型。其中包括概念模型、知识模型、物理化学模型、数学模型等。
- (3) 网络模型与算法研究。在理论模型研究的基础上构造具体的神经网络模型，以实现计算机模拟或准备制作硬件，包括网络学习算法的研究。这方面的工作也称为技术模型研究。
- (4) 人工神经网络应用系统。在网络模型与算法研究的基础上，利用人工神经网络组成实际的应用系统，例如，完成某种信号处理或模式识别的功能、构造

专家系统，制成机器人等。

人工神经网络的理论应用取得了令人瞩目的发展，特别是在人工智能、自动控制、计算机科学、信息处理、机器人、模式识别、CAD/CAM 等方面都有重大的应用实例。下面列出一些重要的应用领域。

(1) 模式识别和图像处理。印刷体和手写体字符识别、语音识别、签字识别、指纹识别、人体病理分析、目标检测与识别、图像压缩和图像复制等。

(2) 控制和优化。化工过程控制、机器人运动控制、家电控制、半导体生产中掺杂控制、石油精炼优化控制和超大规模集成电路布线设计等。

(3) 预报和职能信息管理。股票预测、地震预报、有价证券管理、借贷风险分析、IC 卡管理和交通管理等。

(4) 通信。自适应均衡、回波抵消、路由选择和 ATM 网络中的呼叫接纳识别和控制等。

(5) 空间科学。空间交会对接控制、导航信息智能管理、飞行器制导和飞行程序优化管理等。

1.4 神经细胞与人工神经元

1.4.1 生物神经元的特点

神经系统的基本构造单元是神经细胞，也称神经元，又叫做神经组织，是构成神经系统结构和功能的基本单位。每个神经元都包括 3 个主要部分：细胞体、树突和轴突。其结构如图 1.1 所示。

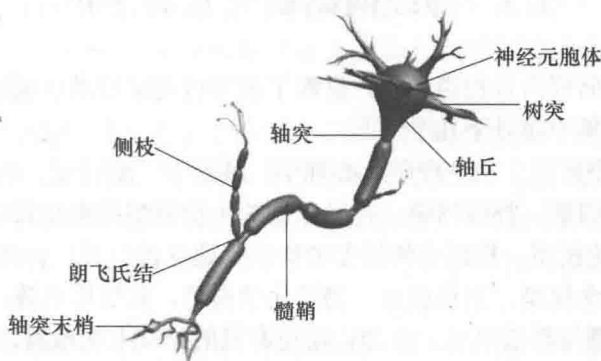


图 1.1 神经元结构图

(1) 细胞体。细胞体是神经元的主体。由细胞核、细胞质和细胞膜 3 部分组成。它是神经元活动的能量供应地，也是进行新陈代谢等各种生化过程的场所。