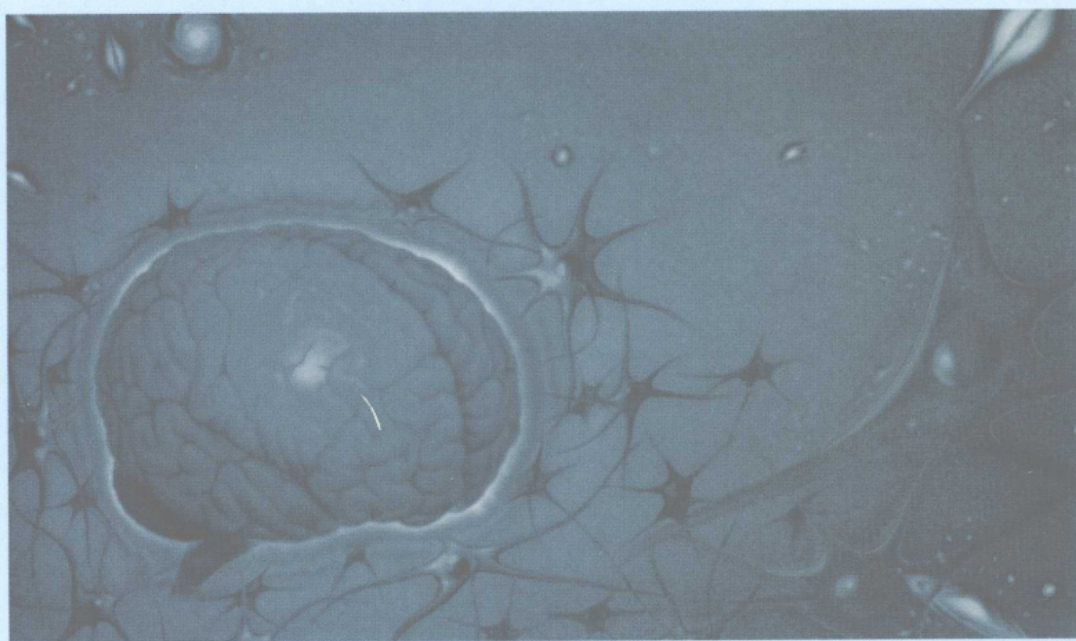


# 仿生智能算法 及其在机械工程中的应用

张学良 温淑花 编著



中国科学技术出版社

TH-39

Z213



# 仿生智能算法及其在机械 工程中的应用

张学良 温淑花 编著

中国科学技术出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

仿生智能算法及其在机械工程中的应用/张学良, 温淑花编著. —北京: 中国科学技术出版社. 2004.9

ISBN 7-5046-3913-3

I. 仿… II. ①张…②温… III. 人工智能-算法-理论-应用-机械工程 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 096574 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

电话: 010-62103210 传真: 010-62183872

科学普及出版社发行部发行

北京长宁印刷有限公司印刷

\*

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 9 字数: 200 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1~1000 册 定价: 28.00 元

---

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、  
脱页者, 本社发行部负责调换)

## 内 容 简 介

人工神经网络和遗传算法是计算智能近二十多年发展的两大最突出的研究成果,也是目前十分活跃的两个研究热点。人工神经网络是大脑神经系统的模拟,是一种仿生结构智能算法。遗传算法是基于自然选择和遗传机制,在计算机上模拟自然界生物进化过程与机制的仿生过程智能算法。目前这两种仿生智能算法已广泛应用于机械工程领域。

本书以通俗简练的语言较为详细地介绍了两种算法的生物学基础、起源、基本原理和常用算法,在此基础上又着重介绍了它们在机械工程中的应用实例,以期使读者能够尽快了解和掌握两种算法的理论和应用技术。

本书共分2篇11章,具有很强的工程实用性,可作为机械工程、系统科学、计算机应用以及其他一些相关专业的研究生及本科生教材,也可以供相关专业的工程技术与科研人员学习参考。

## 序 言

在教育部批准“太原重型机械学院”更名为“太原科技大学”的喜庆日子里，我校的专家学者出版了一套学术丛书，以表达他们对母校的美好祝福。《仿生智能算法及其在机械工程中的应用》即为这套丛书中的一部，它是作者多年科研与教学成果的结晶，具有重要的学术价值。作者将它作为一份宝贵的礼物献给母校，让我们共同分享这一研究成果。

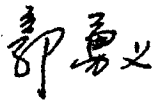
52年前，新中国刚刚成立不久，为了迎接国家经济建设高潮的到来，一所以培养机械工业高级专门技术人才为主的学校在华北大地诞生。从此，她伴随着祖国经济建设的蓬勃发展和时代前进的步伐，历经半个多世纪的风风雨雨，由小变大，由弱变强，现已发展成为一所以工为主，理、工、文、管、经、法、教育门类较为齐全、协调发展的特色鲜明的多科性大学。50多年来，太原重型机械学院为国家培养了大批高素质的各类创新人才，他们正奋战在祖国建设的各条战线上。今天，为了适应市场经济和高等教育发展的需要，这所曾经为共和国重工业发展做出过重要贡献的知名学院，正式更名为太原科技大学。不言而喻，这是太原重型机械学院办学实力不断增强、水平不断提高的明证，也是太原科技大学走向美好明天的开始。

浓郁的学术氛围是母校保持的优良传统。众位同仁在教学科研岗位上辛勤耕耘、硕果累累，为神圣的科技教育事业和祖国的社会主义现代化建设做出了新的贡献。这套丛书的编撰出版，定能让广大读者、校友和在校求学深造的莘莘学子共享母校科技百花园散发的诱人芬芳。

愿太原科技大学在新的征途上继往开来、再创辉煌。

谨以为序。

太原科技大学校长



2004年6月10日

# 前言

学习与记忆是人类智能和其他高级精神活动的基础，是大脑对先前经验的积累。人的认识能力和智慧是在终生的学习与实践中逐渐形成、发展和完善的，客观环境是人类学习的源泉。记忆是大脑对过去经历中发生过的事件的反映，是新获得知识、经验的保持。大脑的记忆系统，不仅能记忆一些客观存在的实体，而且还能记忆各种抽象的感觉、印象、感情等。长期的自然进化赋予了人脑许多现代计算机所不具备的良好性能，人工神经网络的目的正是希望基于生物神经学原理而设计的设备或算法，它是大脑神经系统的模拟，是一种仿生结构智能算法。

自然界充满了奇迹与生机，而生命的繁衍更是奇妙无穷。人类之所以能够向其自身的演化学习以增强决策问题的能力，是因为自然演化过程本质就是一个学习与优化的过程。这一优化过程的目的是使生命体达到适应环境的最佳结构与效果。人们为什么不能师法大自然，把生物学进化的一些基本概念和机理引伸到工程问题的研究中来呢？遗传算法正是基于自然选择和遗传机制，在计算机上模拟自然界生物进化过程与机制的寻优搜索仿生过程智能算法，它模拟的机制是一切生命与智能的产生与进化过程。它模拟达尔文的自然演化规律的原理激励好的结构，模拟孟德尔的遗传变异理论在迭代过程中保持已有的结构，同时寻找更好的结构。它是一类自组织、自适应人工智能技术。

人工神经网络和遗传算法是计算智能近二十多年发展的两大最突出的研究成果，也是目前十分活跃的两个研究热点。

作者多年来有幸从事于神经网络和遗传算法的科研与研究生教学工作，基于两方面的一些体验，本书力求以较为通俗简练的语言来介绍这两种智能算法的起源、概念、基本原理与算法及其在机械工程中的应用，使读者能够尽快了解和掌握相关的理论知识尤其是其工程应用方法。

本书的特点是，语言简练、通俗、易懂，并注重实用。

本书共分两篇十一章。

第一篇 神经网络及其在机械工程中的应用，该篇共分六章：第一章 神经网络概论，介绍神经网络的起源与发展、神经网络的生物学基础、人工神经网络结构；第二章 神经网络的学习与记忆，介绍神经网络学习的基本原理、神经网络记忆的基本原理、神经网络的学习、神经网络的记忆、神经网络的一般学习规则；第三章 前向神经网络，介绍感知器、多层前向网络与 BP 学习算法以及几种改进的 BP 算法；第四章 其他几种常用神经网络，介绍径向基函数网络、离散型 Hopfield 网络、连续型 Hopfield 网络和竞争学习网络；第五章 神经网络的设计，介绍训练样本集的准备、多层前向网络的结构设计以及网络的训练、检验及性能评价；第六章 神经网络在机械工程中的应用，介绍了基于人工神经网络的机械结合面动态基础特性参数的神经网络结构化建模、基于人工神经网络的切削用量智能化选择、磨料流加工工艺参数的人工神经网络建模、基于人工神经网络的结构重分析技术、制造系统故障诊断中的多神经网络智能诊断理论与技术、基于人工神经网络

的变切削条件下钻头磨损监控、磨损磨屑识别的神经网络方法、基于人工神经网络的超塑变形内部损伤演变预测以及弹性力学的实时人工神经网络计算模型及神经网络在机械工程中的应用总结与展望。

第二篇 遗传算法及其在机械工程中的应用, 全篇又分五章: 第七章 遗传算法的起源与发展, 介绍遗传算法的生物学基础、遗传算法的提出与发展; 第八章 遗传算法的理论基础, 介绍遗传算法的基本原理、遗传算法的几个基本概念、遗传算法的基本算子和数学基础; 第九章 遗传算法的实现, 介绍遗传算法的实现、遗传算法实现举例; 第十章 遗传算法的特点与改进, 介绍遗传算法的特点、对简单遗传算法的一些改进、几种常见的遗传算法和遗传算法应用的几个关键问题; 第十一章 遗传算法在机械工程中的应用, 介绍基于遗传算法的 Bounc-Wen 迟滞非线性动力学模型的参数识别方法、基于遗传算法的圆柱齿轮变位系数的优化选择和基于遗传算法的机器人路径规划以及小结。

本书第一、二、五和十一章由张学良编写, 第三、四、六、七、八、九、十章由温淑花编写。在编写过程中, 作者参考了许多专家、学者在相关方面的论著、论文等研究成果, 并博采众长, 汲取了他们的宝贵经验, 这些研究成果已在参考文献中一一列出。在此作者谨向他(她)们表示由衷的感谢和敬意。研究生武美先、李海楠、刘蜀阳、荀绍斌等在本书的文字编辑输入过程中, 付出了大量的辛勤劳动, 在此作者也向他(她)们表示衷心的感谢。

由于作者学识水平有限, 本书中难免会有错误与不当之处, 敬请读者不吝赐教, 对此作者不胜感激。

作 者

2004 年 7 月于太原

# 目 录

|          |     |
|----------|-----|
| 序言 ..... | 郭勇义 |
| 前言 ..... |     |

## 第一篇 神经网络及其在机械工程中的应用

|                                              |      |
|----------------------------------------------|------|
| 第一章 神经网络概论 .....                             | (3)  |
| § 1.1 神经网络的起源与发展简介 .....                     | (3)  |
| § 1.2 神经网络的生物学基础 .....                       | (7)  |
| § 1.3 人工神经网络结构 .....                         | (11) |
| 第二章 神经网络的学习与记忆 .....                         | (16) |
| § 2.1 神经网络学习的基本原理 .....                      | (16) |
| § 2.2 神经网络记忆的基本原理 .....                      | (17) |
| § 2.3 神经网络的学习 .....                          | (20) |
| § 2.4 神经网络的记忆 .....                          | (23) |
| § 2.5 神经网络的学习规则 .....                        | (24) |
| 第三章 前向神经网络 .....                             | (29) |
| § 3.1 感知器 .....                              | (29) |
| § 3.2 自适应线性神经元及网络 .....                      | (31) |
| § 3.3 多层前向网络与 BP 学习算法 .....                  | (33) |
| § 3.4 几种改进的 BP 算法 .....                      | (39) |
| 第四章 其他几种常用神经网络 .....                         | (48) |
| § 4.1 径向基函数网络 .....                          | (48) |
| § 4.2 离散型 Hopfield 网络 .....                  | (53) |
| § 4.3 连续型 Hopfield 网络 .....                  | (56) |
| § 4.4 竞争学习网络 .....                           | (59) |
| 第五章 神经网络的设计 .....                            | (65) |
| § 5.1 训练样本集的准备 .....                         | (65) |
| § 5.2 多层前向网络的结构设计 .....                      | (69) |
| § 5.3 网络的训练、检验及性能评价 .....                    | (71) |
| 第六章 神经网络在机械工程中的应用 .....                      | (74) |
| § 6.1 基于人工神经网络的机械结合面动态基础<br>特性参数的结构化建模 ..... | (74) |
| § 6.2 基于人工神经网络的切削用量智能化选择 .....               | (81) |
| § 6.3 磨料流加工工艺参数的人工神经网络建模 .....               | (84) |
| § 6.4 基于人工神经网络映射建模的立体车库钢结构优化设计 .....         | (86) |



|        |                               |       |
|--------|-------------------------------|-------|
| § 6.5  | 制造系统故障诊断中的多神经网络智能诊断理论与技术····· | (89)  |
| § 6.6  | 基于人工神经网络的变切削条件下钻头磨损监控·····    | (91)  |
| § 6.7  | 磨损磨屑识别的神经网络方法·····            | (93)  |
| § 6.8  | 基于人工神经网络的超塑变形内部损伤演变预测·····    | (93)  |
| § 6.9  | 弹性力学的实时人工神经网络计算模型·····        | (94)  |
| § 6.10 | 圆柱齿轮齿向载荷分布系数的人工神经网络模型·····    | (97)  |
| § 6.11 | 神经网络在机械工程中的应用总结与展望·····       | (100) |

## 第二篇 遗传算法及其在机械工程中的应用

|        |                                              |       |
|--------|----------------------------------------------|-------|
| 第七章    | 遗传算法的起源与发展简介·····                            | (105) |
| § 7.1  | 遗传算法的生物学基础·····                              | (105) |
| § 7.2  | 遗传算法的提出与发展简介·····                            | (107) |
| 第八章    | 遗传算法的理论基础·····                               | (109) |
| § 8.1  | 遗传算法的基本原理·····                               | (109) |
| § 8.2  | 遗传算法的几个基本概念·····                             | (109) |
| § 8.3  | 遗传算法的基本算子和数学基础·····                          | (110) |
| 第九章    | 遗传算法的实现·····                                 | (114) |
| § 9.1  | 遗传算法的实现·····                                 | (114) |
| § 9.2  | 遗传算法实现举例·····                                | (116) |
| 第十章    | 遗传算法的特点与改进·····                              | (119) |
| § 10.1 | 遗传算法的特点·····                                 | (119) |
| § 10.2 | 对简单遗传算法的一些改进·····                            | (119) |
| § 10.3 | 几种常见的遗传算法·····                               | (122) |
| § 10.4 | 遗传算法应用的几个关键问题·····                           | (124) |
| 第十一章   | 遗传算法在机械工程中的应用·····                           | (125) |
| § 11.1 | 基于遗传算法的 Bounc-Wen 迟滞非线性动力学<br>模型的参数识别方法····· | (125) |
| § 11.2 | 基于遗传算法的圆柱齿轮变位系数的优化选择·····                    | (126) |
| § 11.3 | 基于遗传算法的机器人路径规划·····                          | (129) |
| § 11.4 | 小结·····                                      | (131) |
| 参考文献   | ·····                                        | (133) |

# 第一篇 神经网络及其在机械 工程中的应用



# 第一章 神经网络概论

## § 1.1 神经网络的起源与发展简介

### § 1.1.1 神经网络的起源

神经元学说起源于 19 世纪末, 由 Caial 于 1889 年创立。他指出神经系统是由相对独立的神经细胞构成的。脑科学研究表明, 大脑的中枢神经系统 (Central Nervous System) 的主要部分——大脑皮层包含有大约  $10^{11} \sim 10^{13}$  个神经细胞, 每个神经细胞与大约  $10^3 \sim 10^5$  个其他神经细胞相连接。神经细胞也称神经元 (Neurons), 是脑神经系统的基本单元, 脑神经网络就是由大量各种形态的神经细胞按不同形式的结合方式构成的一个极其庞大而又复杂的网络系统, 即生物神经网络。它能完成诸如智能、思维、情绪等高级精神活动, 无论是脑科学还是人工智能都必然地促使人们对人脑 (神经网络) 的模拟, 即导致了人工神经网络的研究。

人工神经网络 (Artificial Neural Networks) 习惯上也称为神经网络 (Neural Networks) 或称为连接模型 (Connectionist Model), 是对人脑或生物神经网络若干基本特性的抽象、简化和模拟。

### § 1.1.2 神经网络的发展简介

神经网络研究是人工智能研究的一个分支或领域, 纵观其发展历程, 几经兴衰, 可以分为四个阶段: 第一阶段——启蒙期, 从 19 世纪末著名的美国心理学家 W. James 的研究开始, 到 1969 年 M. Minsky 和 S. Papert 出版《感知器》 (Perceptrons) 一书; 第二阶段——低潮期, 开始于 1969 年, 直到 1982 年美国加州工学院物理学家 J. J. Hopfield 教授发表突破性研究成果论文; 第三阶段——复兴期, 始于 1982 年, 直到 1986 年 D. E. Rumelhart 和 J. L. McClelland 领导的研究小组出版《并行分布处理》 (Parallel Distributed Processing) 著作; 第四阶段——新连接机制时期, 由 1987 年至今, 其标志为 J. D. Cowan 与 D. H. Sharp 发表的回顾性综述文章“神经网络与人工智能”。

#### 1. 启蒙期

1890 年, 著名的美国心理学家 W. James 发表了第一部论述脑结构及功能的专著《心理学》, 对相关学习、联想记忆的基本原理做出了开创性研究。他认为, 当两个基本脑“突起”一起被激活 (或相继激活) 时, 会将这种兴奋传播到另一个。这与当今神经网络中相关学习、联想记忆的概念有着密切关系。同时, 他还预言神经元的活动是其输入的总和的函数。

1943 年, 心理学家 M. McCulloch 和数学家 W. H. Pitts 首先从信息处理的角度出发,

采用数理模型的方法对神经细胞的动作进行了研究,提出了形式神经元的数学模型,简称M-P模型,从此开创了神经科学研究的新纪元。1949年,心理学家D.O.Hebb在其著作《行为组织》(Organization of Behavior)中提出了神经元连接强度的修正方法——Hebb学习规则。这一规则的正确性在30年后得到了证实,至今都产生着重要而深刻的影响。

作为人工智能的神经网络系统研究,则是始于20世纪的50年代末60年代初。1958年F.Rosenblatt提出的感知器(Perceptrons)最具有代表性,提出了一种具有三层网络的结构。他认为神经网络的记忆信息存储在连接权上,而不是在网络的拓扑图表示上;存贮的信息相应于一组新的连接,外部激励利用新的连接通道自动激活相应的神经元响应,以达到识别的目的。尽管该模型比较简单——但它却具有神经网络的一些性质,如可学习性、并行处理、分布式存贮等,这些性质与当时流行的串行。离散的符号处理的电子计算机与人工智能技术完全不同,从而引起了不少研究者的兴趣,在20世纪60年代掀起了一次研究神经网络的高潮。1960年,B.Widrow和M.Hoff提出了一种自适应线性神经元模型Adaline及一种有效的网络学习方法——Widrow-Hoff学习规则(又称 $\delta$ 学习规则),并用硬件电路实现了人工神经网络方面的工作,奠定了用大规模集成电路实现神经网络计算机的基础,做出了杰出的贡献。

## 2. 低潮期

随着神经网络研究的深入开展,人们遇到了来自认识方面的、应用方面的、实现方面的各种困难和迷惑问题,一时难以解决。对神经网络的学习能力问题,引起了学术界的很大争议。人工智能的创始人之一M.Minsky与S.Papert潜心研究数年,仔细地从数学上分析了以感知机为代表的神经网络系统的功能,于1969年发表了对神经网络研究产生重要影响的《感知机》一书。书中对感知机本身内在的功能局限性进行了全面深入的分析,指出感知机网络不能实现某些基本的功能(如异或等)。书中不怎么谈感知机好的方面,而是片面地大量指责感知机不能做什么,甚至认为感知机没有科学价值。认为简单的神经网络只能进行分类和求解一阶谓词问题,而不能进行非线性分类和解决比较复杂的高阶谓词问题,并指出与高阶谓词问题相应的应该具有隐层单元的多层神经网络,提出了构造包含隐层的多层感知机方案,以增强感知机的能力,但是对多层感知机隐层单元的学习问题抱悲观态度,认为要找到一个多隐层网络的有效学习算法是极其困难的。Minsky的悲观论点极大地影响了当时神经网络的研究,故在其后的十年内,从事神经网络研究的人数、经费支持大大下降,使这一方面的研究发展进入了低潮时期。

当然,使神经网络处于低潮的更重要原因是,20世纪70年代以来集成电路和微电子技术的迅猛发展,使电子计算机硬件实现技术飞快进步。传统的冯·诺伊曼(Von Neumann)数字计算机处于发展的全盛时期;基于逻辑符号处理方法的人工智能得到迅速发展并取得了显著的成就,整个学术界陶醉于数字计算机的成功喜悦之中,暂时掩盖了发展新型模拟计算机和寻求新的神经网络的必要性和可能性。

但是,值得一提的是,在神经网络研究处于极度低潮的这一时期,仍有学者坚持不懈地致力于神经网络的研究。1969年,美国学者S.Grossberg与G.A.Carpenter提出了自适应共振理论(ART)模型,并在以后的若干年发展了ART模型的三个版本,即ART1、ART2、ART3。ART网络被认为是至今所提出的最复杂的神经网络之一。1972年,芬兰学者T.Kohonen提出了自组织映射(SOM)理论,并称其神经网络结构为联想存储器,

与此同时,神经心理学家 J. Anderson 也提出了一个类似的神经网络结构,命名为交互存储器。这两种网络在结构、学习算法及激活函数方面几乎是相同的。SOM 模型是一类很重要的无导师学习网络,主要用于模式识别、语音识别、分类等应用场合。日本学者 K. Fukushima 提出过几种神经网络结构和学习算法,其中众所周知的是 1979 年提出的新认知机 (Neocognitron) 理论,该网络模型用于模仿视觉模式识别机理,因此,非常强调生物上的合理性。最初描述的网络是自组织的,能够实现无导师学习。后来改进的模型又采用有导师学习, Fukushima 等人认为有导师学习情况更能体现一个工程应用的观点:是模式识别器设计,而不是纯粹的生物模仿……所有这些具有开创性的研究成果和有意义的工作在当时虽然未能引起人们的普遍重视,却为神经网络的进一步研究发展奠定了基础,其科学价值是不可能磨灭的。

随着 VLSI 技术的重大进展、并行处理技术的逐渐成熟,当今的超级计算机在大型复杂科学计算方面显示出巨大的威力,但是人们习以为常的普通知识和经验却很难使计算机“学会”,即使功能强大的超级计算机也只能在相当于小孩认数方面达到中等水平。这一切迫使计算机科学工作者不得不慎重思考:智能问题是否可以完全由人工智能中逻辑推理规则来描述?人脑的智能是否可以在计算机中重现?

### 3. 复兴期

被冷落了 10 年之久的神经网络研究在 1982~1986 年期间又重新掀起了一次热潮,所以称为复兴期。被公认的神经网络研究的复兴主要标志是,1982 年,美国加州工学院物理学家 Hopfield 教授发表的一篇突破性的具有里程碑意义的学术论文,以及相继于 1984 年发表的另一篇重要论文。Hopfield 提出了一种新的神经网络模型递归网络——Hopfield 网络,并指出可以用集成电路实现,很容易被工程技术人员及计算机科技工作者理解,因此,引起了工程技术界的普遍关注。在其网络模型中,尽管没有引入太多新的概念,但他以一种新的创造性的方法将这些概念加以综合应用,定义了神经网络的“能量函数”,给出了网络稳定性的判据,使所提出网络具有联想记忆、优化问题求解能力。更令人兴奋的是, Hopfield 将这种模型用简单的模拟电路实现,并成功地运用于著名的“旅行商 (TSP)”问题的求解、4 位 A/D 转换器的实现,取得了满意的解。Hopfield 的研究成果为神经计算机 (Neurocomputer) 的研制奠定了基础,同时,开创了神经网络用于联想记忆和优化计算的新途径。人们从中看到了神经网络新的曙光。

1986 年,美国公司 AT&T 贝尔实验室宣布了利用 Hopfield 网络理论实现的第一个基于硅芯片的硬件神经网络。G.E. Hinton 和 T.J. Sejnowski 借助统计物理学的概念和方法提出了一种随机网络模型——波尔茨曼机,学习过程中采用模拟退火技术,有效地克服了 Hopfield 网络存在的能量局部极小问题,使整个网络系统的状态更新,最终能达到能量全局最小点。

如果说 Hopfield 点燃了神经网络复兴的火炬,那么 D.E. Rumelhart 和 J.L. McClelland 领导的 PDP 研究小组一行人则使这把火炬迸发出更加耀眼的光芒。PDP 研究小组于 1986 年出版了《并行分布处理》(Parallel Distributed Processing)一书的前两卷,相继于 1988 年出版了第三卷,全面介绍了 PDP 理论。PDP 理论着重于认知微观结构的探索,将神经网络模型归结为具有三个基本属性:结构、神经元的激活函数及学习算法。当然,最突出的贡献之一是发展了多层网络学习的误差反向传播算法——BP 算法,为解决多层网络学

习难的问题开辟了一条道路,对神经网络研究新高潮的到来起到了推波助澜的作用。BP算法仍是时至今日为止应用最普遍的神经网络学习算法。

这一时期大量而深入的开拓性研究工作,大大发展了神经网络模型、学习算法,加强了对神经网络系统特性的进一步认识,使人们对模仿脑信息处理的智能计算机的研究重新燃起并充满了希望。1987年6月21日IEEE在美国加州圣地亚哥召开了第一届神经网络国际会议,约200名专家学者发表了研究论文,与会代表多达2000人,规模之宏大、讨论之热烈实属罕见。国际神经网络学会(INNS)随之宣告成立,这标志着神经网络的发展进入了一个新纪元。1988年由三位世界著名的神经网络学家,美国波士顿大学的S.Grossberg教授、芬兰赫尔辛基技术大学的T.Kohonen教授及日本东京大学的甘利俊教授发起的世界第一份《神经网络》杂志创刊;自1988年起国际神经网络学会和IEEE联合召开了每年一次的国际学术会议。IEEE成立了由其下属的十个学会组成的神经网络委员会;1990年3月,IEEE神经网络会刊问世;各种学术期刊的神经网络特刊层出不穷,神经网络研究出现了更高的热潮。

归纳起来,神经网络与神经计算机研究能够再度掀起热潮的动力有以下几个方面:

#### (1) 神经科学研究的突破和进展

对神经系统的组成、工作原理,信息处理方式有了更清楚地认识,提出了好几种有创见性的神经网络模型和理论。

#### (2) 计算机科学与人工智能的迫切需要

传统的冯·诺伊曼计算机已具有很强的逻辑计算能力,但在处理类似人脑日常进行简单的日常判断、语音识别、图形图像识别等形象思维范畴的问题时,却显得相当笨拙和无能为力。传统的人工智能方法在知识的获取、搜索和运用等方面遇到不可逾越的障碍;基于符号处理的日本第五代计算机的研制并不乐观。因此,迫切需要寻找新的途径——神经计算机研究的突破。

#### (3) 技术可能性

VLSI技术、光学技术、超导技术、生物技术的迅速发展为神经网络的硬件实现提供了物质基础和技术上的保障。

#### (4) 非线性科学的迅速发展

非线性是自然界中普遍存在的一种复杂系统特性,非线性系统表现出丰富多彩的动力学特性,引起了学术界的极大兴趣。近年来广泛研究的混沌(Chaos)动力学与奇怪吸引子理论揭示了非线性动力学系统的一些复杂行为;对大量元件集体作用而产生的宏观有序结构的研究,导致协同学的创立;非平衡系统的研究,产生了耗散结构理论……所有这些工作,从抽象意义来讲,都是复杂系统如何通过简单元件之间的互相作用,使系统结构从无序到有序,功能由简单到复杂,使人们对智能系统的学习与活动过程有一宏观认识。非线性科学的深入研究将大大推动神经网络的发展。

### 4. 新连接机制时期

从1987年起,神经网络的发展已跨入新连接机制时期。神经网络理论、实现和应用开发工具以令人振奋的速度迅速发展。神经网络已不再是仅仅停留在研究阶段或说说而已的水平,人们开始动手实践,设计并实现一定规模的神经元芯片、神经计算机装置;在现有个人计算机上建立神经网络软件开发工具;应用神经网络理论和方法解决传统计算机方

法难以解答的各种应用问题。神经网络的应用领域相当活跃,几乎遍及各个学科和领域。

## § 1.2 神经网络的生物学基础

### § 1.2.1 生物神经元的结构及功能

生物神经元,简称神经细胞,是构成神经系统的基本功能单元。尽管其形态不尽相同,功能也有所差异,但基本结构相似,各种神经元都是由细胞体 (Cell Body 或 Soma)、树突 (Dendrite)、轴突 (Axon)、突触 (Synapse) 等四部分组成 (图 1-1)。

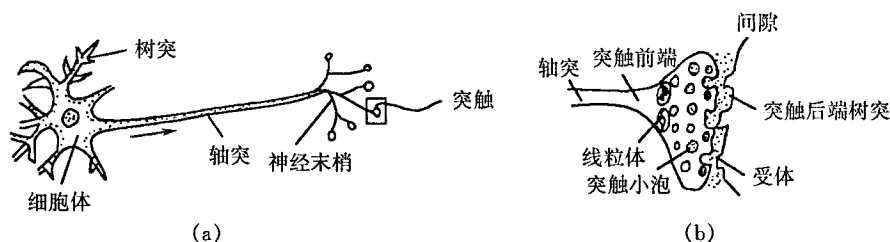


图 1-1 生物神经元的结构

#### 1. 细胞体

细胞体由细胞核 (Cell Nucleus)、细胞质 (Cytoplasm) 和细胞膜 (Cell Membrane) 三部分构成。细胞体是神经元的主体,它是接受与处理信息的部件。细胞核占据细胞体的很大一部分,进行呼吸和新陈代谢等许多生化过程。细胞体的外部是细胞膜,膜将内外细胞液分开。由于细胞膜对细胞液中的不同离子具有通透性,使得膜内外存在着离子浓度差,从而出现内负、外正的静止膜电位。

#### 2. 树突

树突是在细胞体周围向外伸出许多突起的神经纤维 (Nerve Fibers),其中大部分突起呈树状,起感受作用,接受来自其他神经元的传递信号,这些突起称为树突。它是细胞体的信息输入端。

#### 3. 轴突

轴突也称神经纤维,它是由细胞体向外延伸最长的突起纤维体,其长度从几个微米到 1m 左右。轴突比树突长,用来传出细胞体产生的输出电信号,是细胞体的输出端。在轴突的末端形成许多细的分枝,称为神经末梢,通过它向四周传输信号。

#### 4. 突触

一个神经元的神经末梢与另一个神经元树突形成的功能性接触 (Contact Point) 称为突触。所谓功能性接触并非永久性接触,它是神经元之间信息传递的奥秘所在。这种接触相当于神经元之间信息传递的输入与输出接口。每个神经元约有  $10^3 \sim 10^5$  个突触。多个神经元以突触连接形成神经网络,且在突触附近产生了信息的处理和传递。

### § 1.2.2 生物神经元信息的产生及传输

生物神经元中的细胞体相当于一个初等处理器,树突和细胞体为输入端,接受突触点



的输入信号，突触为输入输出接口。该处理器对来自其他神经元的神经信号进行组合（总体求和），并在一定条件下触发（激活），产生一个输出信号（即产生一种神经输出信号）。输出信号传向其他神经元的树突和细胞体。于是，信息通过神经元在网络中一个一个地传下去，直到最复杂的处于大脑最外层的大脑皮层。大脑皮层中密布着大量神经元构成的神经网络，这就使它具有高度的分析和综合能力，它是人脑思维活动的物质基础。

由于细胞膜将细胞体内外分开，因此细胞体内外具有不同的电位，通常是内部电位比外部低。细胞膜内外电位之差称为膜电位。没有神经信息输入时的膜电位称为静止膜电位（膜内为负，膜外为正），一般在 $-70\text{mV}$ 左右。

当神经细胞受到外界一定强度信号的刺激时，细胞膜电位从静止膜电位向正偏移，当膜电位超过静止膜电位高约 $15\text{mV}$ ，即超过阈值电位（ $-55\text{mV}$ ）时，该细胞变成活性细胞，其膜电位自发地急速升高，在 $1\text{ms}$ 内比静止膜电位上升 $100\text{mV}$ 左右。此后，膜电位又急速下降，回到静止时的值。这一过程称为细胞的兴奋过程。兴奋的结果，产生一个 $100\text{mV}$ 的电脉冲，又叫神经冲动。值得注意的是，当细胞体产生一个电脉冲后，即使受到很强的刺激，也不会立刻产生兴奋，这段时间称为绝对不应期。当绝对不应期过后，暂时性阈值变高，细胞兴奋更加困难，这段时间称为相对不应期。绝对不应期约为 $1\text{ms}$ ，相对不应期约数 $\text{ms}$ ，绝对不应期与相对不应期合称为不应期。不应期结束后，若细胞受到很强的刺激，则再次产生兴奋性电脉冲。

神经细胞的研究表明：神经元的电脉冲几乎可以不衰减地沿着轴突传递到其他神经元去，由神经元传出的脉冲信号通过轴突，首先到达轴突末梢，这时使其中的囊泡产生变化，从而释放神经递质（一种兴奋性的或抑制性的化学物质），这种神经递质能从突触前膜经过突触间隙的液体扩散，并在突触后膜与特殊的受体相结合，从而使突触后膜电位发生变化，这种变化可能是兴奋（突触后膜电位向零电位方向增大）或抑制（突触后膜电位向更加负电位方向变化）。当突触前膜释放的兴奋性递质，使突触后膜电位超过了某一个阈值时，后一个神经元就有神经脉冲输出，从而把前一个神经元信息传递给后一个神经元。这种传递具有两个特性：

(1) 单向传递性，即只能由一级神经元的轴突末梢传向下一级神经元的树突或细胞体，而不能做相反方向传递。

(2) 时间延迟性，从脉冲信号由突触前膜，到突触后膜电位发生变化，有 $0.2\sim 1\text{ms}$ 的时间延迟，这段延迟是化学递质分泌，向突触间隙扩散，到达突触后膜在那里发生作用所经历的时间而致。

突触的传递效率随着突触后膜表面积扩大，释放出的递质增多，突触间隙随突触发芽及突触数目的增减等的改变而改变。

由此可见，突触具有生长特性，结构上是可塑的；再者，突触对神经冲动的传递具有延迟作用。

人脑神经元是通过突触接受和传递信号的，一个神经元可以从上千个其他的神经元接受多个输入。由于输入分布不同的部分，对神经元影响的比例（权值）是不同的。在同一时刻产生的刺激所引起的膜电位变化，大致等于各单独刺激引起的膜电位变化的代数和，这种累加求和称为空间整合。另外，各输入脉冲到达神经元的先后时间不一样，由脉冲引起的突触后膜电位很小，但在其持续时间内有另一脉冲相继到达时，总的突触后膜电位增