

智能科学与非线性科学丛书

西安电子科技大学出版社

神经网络系统理论

焦李成 著



神经网络系统理论

焦李成 著

西安电子科技大学出版社

1996

(陕)新登字010号

内 容 简 介

神经网络系统理论是近年来得到迅速发展的一个国际前沿研究领域,它的发展对计算机科学、人工智能、认知科学、脑神经科学、数理科学、信息科学、微电子学、自动控制与机器人、系统工程等领域都有重要影响。本书系统地论述了神经网络系统的基本理论、方法,系统的综合与应用及有关最新研究成果,主要内容有:神经元的MP模型及Hebb学习规则、动力系统的稳定性及其判别方法;前向网络、反向网络、自组织网络及随机网络四个范式;神经网络的通用迭代模型、性质及其Systolic实现方法;新的神经网络模型及其时空结构功能及有关性能;神经网络的设计与综合;神经网络理论的应用;神经网络计算机的基本结构与实现方法。

本书可作为理工科大学计算机、自动控制、信号与信息处理、电路与系统、系统工程等专业博士生、硕士生及高年级大学生的教材,同时对有关领域的研究人员和工程技术人员有重要参考价值。

西安电子科技大学出版社出版发行

西安电子科技大学印刷厂印刷

新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 18 8/16 字数 432 千字

1990年12月第1版 1996年9月第5次印刷 印数 13 501—18 500

ISBN 7-5606-0157-X/TP·0052

定价: 18.50元



焦李成, 1959年10月出生于陕西省白水县。1982年1月毕业于上海交通大学, 获学士学位; 1984年7月和1990年4月在西安交通大学研究生院分别获硕士和博士学位, 现为西安电子科技大学博士后。现任IEEE高级会员, 中国神经网络委员会委员, 中国电子学会学术委员会委员, 国家“863”专家评审组成员, 陕西省电子学会学术委员会副主任, 西安电子科技大学神经网络研究中心主任。出版著作有《神经网络系统理论》、《非线性传递函数理论与应用》、《神经网络的应用与实现》等。作为第一作者已发表有关学术论文80余篇。主要研究领域包括: 非线性科学、智能信息处理、非线性电路与系统、神经网络与大规模并行处理等。

序 言

第一台电子计算机问世，迄今已有近半个世纪的历史。在这期间，不仅计算机本身几经更新换代，其性能日益优越，而且计算技术也广泛应用于各种信息系统，能完成许多复杂处理。可以说，计算机的诞生和发展是本世纪科学技术最伟大的成就之一，它对推动科学、技术和社会的发展起到了难以估量的作用。

电子计算机是按冯·诺伊曼原理，用逻辑规则进行运算的，它有极强的算术和逻辑运算功能，现在的运算速度已可达每秒数亿次，其结果的精确和可靠程度更是人工所无法企及的。但是，电子计算机的形象思维能力与人却相去甚远。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，但即使很简单的物体，用先进的电子计算机来识别它却也非常艰难。因此，要使设备具有较强的形象思维能力，看来按冯·诺伊曼原理的思路是行不通的，必须另辟蹊径。

模拟人脑智能特点和结构的人工神经网络的研究应运而生，且已有多年历史。由于结构的复杂性，起始阶段进展不快，并一度陷入低谷。但不少有识之士，在极其艰难的条件下，孜孜以求地研究，工作一直没有中断过，并在模型建立等理论方面取得了不少有效的成果。近年来，大规模集成技术的发展，为其提供了实现的基础和应用前景，在短短几年里，神经网络的研究异军突起，进入了空前活跃的时期，成为信息科学、脑神经科学和数理科学的“热点”。

神经网络与以算术和逻辑运算、存贮与运算相分离、串行地执行指令为基础的冯·诺伊曼计算机迥然不同。它是一个非线性动力学系统，并以分布式存贮和并行协同处理为特色。虽然单个神经元的结构和功能极其简单和有限，但大量神经元构成的网络系统所能实现的行为却是极其丰富多采的。经过近几年国内外广大科技工作者卓有成效的研究，理论和实践方面都取得了长足的进展。神经网络系统不仅在形象思维方面，而且在其它许多方面都表现出强大的生命力，特别为信息科学界所瞩目。

谈论完全由神经网络构成具有较高智能的计算机，现在可能还有些为时尚早。因为人们对这样一种极其复杂的非线性动力学系统的认识还仅仅是初步的，许多难题还有待于突破。但是，将神经网络现有的成果应用于各种信息系统已经成为现实，而且很可能由此开辟出一条崭新的途径。基于以上认识，我认为国内广大科技工作者（特别是信息科学领域的）应对神经网络予以关注。

焦李成同志是一位年轻的博士，在非线性和超大规模全集成系统方面做了许多研究工作，并取得了可喜的成果。近年来，他又致力于神经网络系统的研究。《神经网络系统理论》一书就是他在悉心阅读了大量有关著作的基础上心有所得，并加以综合分析和归纳，

同时融入了他本人的研究成果。本书系统性较强，覆盖面广，分析较深入。它的出版对有志于神经网络系统研究的科技工作者和研究生是有裨益的。作为一门新兴学科的著作，一定有许多待改进之处。希望本书的出版能够对国内神经网络学科的发展起到一定的促进作用。愿读者与作者共同努力，将我国神经网络的研究推向前进。

保 铮 谨识

1990年11月

于西安电子科技大学

前 言

以非线性大规模并行分布处理为主流的神经网络的研究在最近几年取得了引人注目的进展,引起了包括计算机科学、人工智能、认知科学、信息科学、微电子学、自动控制与机器人、脑神经科学等学科与领域内的科学家的巨大热情和广泛兴趣。人们普遍认为它将使电子科学和信息科学等产生革命性的变革,并将促使以神经计算机为基础的高技术群的诞生和发展。

神经网络理论突破了以传统的线性处理为基础的数字电子计算机的局限,标志着人们开始考虑利用赖以生存的非线性世界,探索和研究像人脑这样的复杂巨系统。近十几年来,耗散结构、孤粒子、自组织、协同学、超循环与微循环、奇怪吸引子与混沌动力学等理论的问世和发展,使人们认识到非线性是一切复杂性之源。正是由于非线性作用,才孕育出大自然的万千气象、人类社会的风云变幻和人类思维的错综差异。非线性科学在过去 20 年间激励了自然科学、工程技术与社会科学的几乎全部学科的研究者,并向人们提出了划时代的挑战,同时也促进了神经网络研究的发展。

神经网络信息处理系统虽然是以非线性处理为基础的,但目前所研究的只是非线性系统的最简单特征。真正模拟人脑信息处理机制的神经网络是一巨型非线性动力学系统,它具有丰富的动力学复杂性,对此我们认识得还很不充分,有许多复杂现象还未认识到,很多重大的、根本性的问题,有些是空白,有些只有一个开端。特别是如何把脑科学的最新研究成果和 VLSI 技术(如电流模式 VLSI 技术)、光学技术及非线性动力学系统理论结合起来,提出相应的神经网络模型(如适于 VLSI 实现的多维局域神经网络)及其实现方法与技术,还有许多工作要做,这也是开发智能机的基础。

神经网络经过长期的大量研究,尽管取得了很多成果,但对于建立一套完整的理论体系来说,还是远远不够的,况且,神经网络的研究日新月异,并涉及了如此众多的研究领域。在这种情况下,本书面临的形势是复杂而困难的,这是作者所清醒看到的,但是作者还是鼓足勇气将其出版。作者真诚地希望本书在大家的帮助下,不断完善和提高。作为国内较早出版的神经网络的著作,作者认为首先应使本书包含较为全面的基本内容,同时也应反映这一新的研究领域的研究现状和前沿课题以及一些有潜力的新思想、新方法、新技术(诸如 APNN、分维神经网络、神经网络的熵论、关联稳定性与延时动力学、电流模式 VLSI 神经网络及神经优化处理器和系统等)。这就是本书撰写的基本思想和出发点。非线性思想是本书的思想基础,它贯穿于本书的始终。本书包含了作者的研究成果和观点。

本书的基本内容如下:

- 第一章为绪论,讨论了神经网络研究的历史和复兴的动力。研究了神经网络的基本特征,指出了有关前沿研究课题和研究的基本方法;
- 第二章简要地给出了神经网络理论的研究基础,包括神经元的 MP 模型及 Hebb 学习规则、动力系统的稳定性及其判别方法;
- 第三章至第六章主要讨论神经网络范式及其性质。作者把它们归纳为前向网络、反

馈网络、自组织网络和随机网络四个范式。除熟知的感知器、BP、Adaline、Hopfield 网、ART、自组织特征映射、认知机、BAM 模型外，还研究了交替投影神经网络、CPN、分维神经网络、Cauchy 机以及神经网络的熵测度理论等；

·第七章给出了神经网络的通有迭代模型、性质及其 Systolic 实现方法，这是神经网络计算机很有前途的一种实现方法；

·第八章则研究了神经网络的通有连续时间模型，提出了新的神经网络模型及其时空结构功能、延时非线性动力学及结构摄动下的关联稳定性等，其中主要为作者的一些研究成果；

·第九章讨论神经网络设计和综合的四种基本方法，具体研究了四大类神经网络系统的动力学性质和综合程序；

·第十章和第十一章讨论了神经网络理论的应用。前一章研究了神经优化计算和 CAM 中的伪解和伪稳定平衡点问题，并提出了一种与已有结果不同的神经优化方法。后一章则给出了神经网络专家系统的基本理论和实现方法，其中包含作者的一些研究成果；

·第十二章研究了神经网络计算机的基本结构与实现方法。特别是 VLSI 实现的有关问题和途径，提出了全集成神经优化处理器与系统、电流模式 VLSI 神经网络设计与实现等理论与方法，主要反映了作者在这方面的一些研究成果。

西安电子科技大学保铮教授给予我热情的关怀和悉心指导，并详细地审阅了全书，西安交通大学邱关源教授也给予我热情关怀和指导，借此机会表达我对保先生和邱先生由衷的敬意和感激。感谢西安电子科技大学神经网络研究中心诸位同仁的帮助和西安电子科技大学参加神经网络课程学习的博士生、硕士生的建议和讨论。美国波士顿大学的 S. Grossberg 教授、加州伯克莱大学的 L. O. Chua 教授、加州工学院的 C. A. Mead 教授提供了许多宝贵的资料和有益的讨论与建议，作者向他们表示诚挚的谢意。感谢西安电子科技大学领导、科研处、研究生部、电子所领导和各位教师的热情关怀与支持。西安电子科技大学出版社领导和全体同志对本书的出版给予了大力支持并付出了辛勤的劳动，没有他们的支持，本书是难以完成和出版的。此外，本书的出版还得到了国家自然科学基金、国家博士后基金与西安电子科技大学科研基金的资助。

谨以此书献给我的父母和妻子。

焦李成

1990年10月

目 录

序 言

前 言

第一章 绪论

1.1 神经网络的研究历史	(1)
1.2 生物神经元模型	(4)
1.2.1 神经元的结构	(5)
1.2.2 神经元的功能	(5)
1.3 神经网络的基本特征和通用性质	(6)
1.3.1 神经网络的形式化描述	(6)
1.3.2 神经网络模型	(7)
1.3.3 神经网络的信息处理能力	(8)
1.3.4 神经网络的互连结构形态	(10)
1.3.5 神经网络的分类与工作方式	(10)
1.3.6 神经网络的学习规则与分类	(13)
1.4 神经网络的研究方法与主要内容	(14)
1.4.1 神经网络的宏观研究方法	(14)
1.4.2 神经网络未来发展方向与研究课题	(15)

第二章 神经网络理论基础

2.1 MP模型和Hebb学习规则	17)
2.1.1 MP模型	(17)
2.1.2 Hebb学习规则	(17)
2.1.3 延时MP模型	(18)
2.1.4 改进的MP模型	(18)
2.2 动力系统的稳定性	(19)
2.2.1 稳定性分析的数学基础	(19)
2.2.2 V函数的性质的判别	(20)
2.2.3 定号函数的几何解释	(20)
2.2.4 稳定性的基本定义	(20)
2.3 稳定性的Lyapunov第二方法	(22)

第三章 神经网络模型 I: 前向网络

3.1 线性阈值单元	(26)
3.1.1 基本性质	(26)
3.1.2 用线性阈值单元实现布尔函数	(26)

3.1.3	线性可分性与学习	(26)
3.2	感知器	(27)
3.2.1	感知器学习算法	(28)
3.2.2	多层感知器	(29)
3.2.3	梯度算法	(30)
3.2.4	多层感知器学习的定量分析	(32)
3.3	BP 算法 (反向传播算法)	(34)
3.4	前向网络的映射作用与容量分析	(36)
3.4.1	映射作用	(36)
3.4.2	前向网络的容量分析	(39)
3.5	自适应线性元件 (Adaline)	(41)
3.5.1	线性可分性	(42)
3.5.2	非线性可分性——非线性输入函数	(42)
3.5.3	MADALINES 网络	(43)
3.5.4	Widrow—Hoff δ 规则	(44)
3.6	交替投影神经网络 (APNN)	(45)
3.6.1	凸集投影理论	(46)
3.6.2	交替投影神经网络	(46)
3.6.3	稳态收敛性	(49)
3.6.4	学习和训练	(50)
3.6.5	多层 APNN	(50)

第四章 神经网络模型 I: 反馈网络

4.1	离散的 Hopfield 神经网络	(52)
4.2	联想记忆与神经计算	(57)
4.2.1	联想记忆 (Associative Memory)	(57)
4.2.2	神经计算	(58)
4.3	连续时间 Hopfield 神经网络模型	(59)
4.3.1	非线性连续时间 Hopfield 神经网络	(59)
4.3.2	Hopfield 神经网络的设计与稳定性	(64)
4.4	高阶关联神经网络模型	(67)
4.5	联想存储器分析	(70)
4.6	双向联想记忆 (BAM)	(73)
4.6.1	离散 BAM (Bidirection Associative Memory)	(73)
4.6.2	连续和自适应 BAM 网络	(76)
4.6.3	高阶自适应 BAM 网络	(77)
4.6.4	四种无导师联想学习规则	(78)
4.6.5	竞争自适应 BAM 网络	(78)
4.6.6	随机自适应 BAM 网络	(79)

4.7 · 高阶自相关器和异相关器	(79)
4.7.1 一阶自相关器	(79)
4.7.2 高阶自相关器	(81)
4.7.3 一阶异相关器	(81)
4.7.4 高阶异相关器	(82)
4.7.5 一阶 IBAM	(85)
4.7.6 高阶 IBAM	(88)
第五章 自组织神经网络	
5.1 自适应共振理论 (ART)	(89)
5.1.1 ART 的基本原理	(89)
5.1.2 ART 学习算法	(90)
5.2 自组织特征映射	(92)
5.3 CPN 模型	(94)
5.3.1 CPN 的训练	(97)
5.3.2 CPN 的计算	(97)
5.4 神经认知机	(98)
第六章 随机神经网络	
6.1 模拟退火算法	(101)
6.1.1 模拟退火算法	(101)
6.1.2 改进的模拟退火法	(103)
6.1.3 SA 算法的收敛性	(105)
6.2 Boltzmann 机	(106)
6.2.1 Boltzmann 机模型	(106)
6.2.2 能量函数	(106)
6.2.3 学习算法	(108)
6.2.4 Boltzmann 机学习算法推导	(110)
6.3 NN 的概率统计法	(111)
6.4 并行分布 Cauchy 机	(114)
6.5 神经网络的熵理论	(116)
6.5.1 NN 计算能量与熵	(116)
6.5.2 同步并行计算	(117)
6.5.3 异步串行计算	(118)
6.6 动力系统的分维学	(121)
6.6.1 Hausdorff 维数	(121)
6.6.2 分维的量度	(122)
6.7 分维神经网络	(124)
6.7.1 分维 NN 结构	(124)
6.7.2 信息的存贮	(124)

第七章 神经网络的统一描述与 Systolic 阵列实现

7.1 Systolic 阵列	(127)
7.1.1 Systolic 阵列基本概念	(127)
7.1.2 Systolic 阵列结构	(128)
7.1.3 Systolic 实用算法	(131)
7.1.4 Systolic 阵列的应用	(132)
7.2 波前阵列处理器	(134)
7.3 神经网络的通有迭代模型	(135)
7.3.1 回忆阶段的通有公式	(135)
7.3.2 学习阶段的通有公式	(137)
7.4 回归 BP 和 HMM 的统一描述	(142)
7.4.1 回归 BP 神经网络	(142)
7.4.2 隐元 Markov 模型 (HMM)	(144)
7.5 算法到 Systolic 阵列/波前阵列结构的映射	(145)
7.6 通有迭代 ANN 模型的 Systolic 设计	(148)
7.6.1 回忆阶段系统的环形 Systolic 设计	(148)
7.6.2 学习阶段的环形 Systolic 设计	(151)

第八章 连续时间非线性神经网络模型及其时空特征

8.1 通有连续时间神经网络模型	(159)
8.1.1 通有 NN 模型	(160)
8.1.2 通有 NN 的稳定性	(160)
8.1.3 通有 NN 的计算能量函数	(163)
8.1.4 包含有不稳定子系统的大规模神经网络稳定性分析	(164)
8.2 通有神经网络模型的关联稳定性	(167)
8.2.1 有向图	(167)
8.2.2 大规模动力系统的结构与结构扰动	(168)
8.2.3 神经网络的关联稳定性	(170)
8.3 通有神经网络的时空结构与延时动力学	(182)
8.3.1 通有神经网络模型的渐近行为和延时稳定性	(182)
8.3.2 通有神经网络模型的延时关联稳定性	(188)

第九章 神经网络的设计与综合

9.1 联想记忆设计要求	(192)
9.2 神经网络综合的基本方法	(193)
9.2.1 外积法 (Outer Product Method—OPM)	(193)
9.2.2 投影学习规则	(194)
9.2.3 特征结构法 (Eigenstructure Method)	(196)
9.2.4 非对称连接矩阵网络综合	(198)
9.2.5 小结	(199)

9.3 Hopfield 型同步离散神经网络用于 AM 的综合	(200)
9.3.1 神经网络模型	(200)
9.3.2 离散 Hopfield 型神经网络的稳定性分析	(201)
9.3.3 神经网络综合	(205)
9.4 Hopfield 连续时间联想记忆的综合	(208)
9.4.1 Hopfield 模型	(208)
9.4.2 AM 设计	(208)
9.4.3 渐近稳定性	(209)
9.4.4 设计约束	(210)
9.4.5 综合程序	(211)
9.5 超闭正立体上线性神经网络的综合	(212)
9.5.1 综合问题	(212)
9.5.2 综合策略	(213)
9.5.3 综合过程	(213)
9.6 不连续神经网络系统的综合	(216)
9.6.1 基本综合问题	(217)
9.6.2 综合策略	(217)
9.6.3 综合过程	(218)
9.6.4 举例	(222)

第十章 神经优化计算

10.1 Hopfield 模型理论分析	(227)
10.1.1 Hopfield 模型的特征向量表示	(227)
10.1.2 CAM 性质	(228)
10.2 TSP 问题	(230)
10.2.1 TSP 问题描述	(230)
10.2.2 连接矩阵特征值与网络的动力学分析	(231)
10.3 神经优化计算的一种新方法	(237)
10.3.1 神经网络广义收敛定理	(237)
10.3.2 神经优化计算的新算法	(240)

第十一章 神经网络专家系统

11.1 专家系统的发展与现状	(242)
11.2 神经网络专家系统基本原理与结构	(243)
11.2.1 神经网络专家系统的基本原理	(243)
11.2.2 神经网络专家系统的基本结构	(244)
11.3 基于神经网络系统的知识表示、获取与推理	(245)
11.3.1 神经网络及其矩阵表示	(245)
11.3.2 知识表示的神经网络方法	(245)
11.3.3 基于神经网络系统的知识获取	(246)

11.3.4	基于神经网络系统的并行推理	(248)
11.4	组合神经网络专家系统的实现	(249)
11.5	小结	(251)
第十二章 神经网络计算机及其 VLSI 实现		
12.1	神经网络计算机	(252)
12.1.1	神经网络计算机的分类	(252)
12.1.2	直接基于硬件的神经网络计算机实现	(253)
12.1.3	基于现代数字计算机的神经网络计算机实现	(254)
12.2	神经网络的数字 VLSI 实现	(256)
12.3	神经网络的电压模式模拟 VLSI 实现	(259)
12.3.1	模拟神经网络电路基本原理	(259)
12.3.2	MOSFET-C 神经网络	(260)
12.3.3	开关电容神经网络	(261)
12.4	神经网络的电流模式模拟 VLSI 设计与实现	(263)
12.4.1	电流模式 VLSI 设计	(263)
12.4.2	电流模式 VLSI 神经网络设计	(264)
12.4.3	高阶 OTA-C 神经元模型	(265)
12.4.4	电流模式 VLSI 神经网络的自动调谐	(267)
12.5	全集成模拟神经网络优化处理器	(267)
12.5.1	全集成优化处理器的提出	(267)
12.5.2	非线性规划神经网络计算机	(268)
12.5.3	全集成线性规划神经网络计算机	(269)
12.5.4	二次规划神经网络模拟电路	(269)
12.5.5	大规模非线性规划的全集成神经网络模拟	(270)

展 望

参考文献

第一章

绪 论

1.1 神经网络研究的历史

神经网络的研究已有近 30 年的历史,但它的发展是不平衡的,它的兴衰与“人工智能走什么路”这一争议问题有关。与之有关的神经科学研究(大脑功能的生理学及心理学研究、神经元的电生理研究等)在 40 年代已有不少工作,早在 1943 年,心理学家 McCulloch 和数学家 Pitts 合作提出形式神经元的数学模型(称之为 MP 模型),从此开创了神经科学理论研究的时代。MP 模型用逻辑的数学工具研究客观世界的事件在形式神经网络中的表述,1944 年,Hebb 提出了改变神经元连接强度的 Hebb 规则,它们至今仍在各种神经网络模型中起着重要的作用,而作为人工智能的网络系统的研究则是 50 年代末 60 年代初开始的;1957 年 Rosenblatt 首次引进了感知器概念(Perceptron),它由阈值性神经元组成,试图模拟动物和人脑的感知和学习能力;1962 年 Widrow 提出了自适应线性元件(Adaline),它是连续取值的线性网络,主要用于自适应系统,这与当时占主导地位的以顺序离散符号推理为基本特征的 AI 途径完全不同,因而引起了不少人的兴趣,同时也引起了很大的争议。人工智能的创始人之一 Minsky 和 Paper 潜心数年,对以感知器为代表的网络系统的功能及其局限性从数学上作了深入地研究,于 1969 年出版了颇有影响的《Perceptron》一书,他们的结论是悲观的。由于 Minsky 在学术界的地位和影响,故其后若干年内,这一研究方向处于低潮。但更主要的原因在于:传统的 Von Neumann 型数字计算机正处在发展的全盛时期,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之中,从而掩盖了发展新型模拟计算机和人工智能技术的必要性和迫切性。难能可贵的是,在此期间,仍有不少学者在极端艰难的条件下致力于这一研究,Grossberg 等提出了自适应共振理论;芬兰的 Kohonen 提出了自组织映射;Fukushima 提出了神经认知机网络理论;Amari(甘利)则致力于神经网络有关数学理论的研究;Anderson 提出了 BSB 模型;Webos 提出了 BP 理论,从而为神经网络研究的发展奠定了理论基础。

70 年代后期,研究和试图模拟视听觉的人工智能专家首先遇到挫折,设计制造计算机的科学家发现前面有不可逾越的线路微型化的物理极限,人们习以为常的普通知识和经验难以“教给”计算机。这一切迫使人们去思考 Von Neumann 数字计算机究竟能走多远,人脑的智能是否可以在机器中重现?

1982 年,美国加州工学院物理学家 Hopfield 提出了 HNN 模型,从而有力地推动了神经

网络的研究。他引入了“计算能量函数”的概念，给出了网络稳定性判据。它的电子电路实现为神经计算机的研究奠定了基础，同时开拓了神经网络用于联想记忆和优化计算的新途径。Feldmann 和 Ballard 的连接网络模型指出了传统的人工智能“计算”与生物的“计算”的不同点，给出了并行分布处理的计算原则；Hinton 和 Sejnowski 提出的 Boltzman 机模型则借用了统计物理学的概念和方法，首次采用了多层网络的学习算法，即在学习过程中用模拟退火技术，保证整个系统趋于全局稳定点；Rumelhart 和 McClelland 等人提出的 PDP（并行分布处理）理论则致力于认知微观结构的探索，同时发展了多层网络的 BP 算法（反向传播学习算法），把学习的结果反馈到中间层次的隐单元，改变它们的权系矩阵，从而达到预期的学习目的，它是迄今为止最普通的网络，可用于语言综合，自适应控制等；Kosko 提出了双向联想记忆网络，它是最早用于学习的网络；神经网络计算机的先驱 Hecht-Nielsen 则提出了另一种反向传播网络模型，其特征与 BP 网络类似，可用于图像压缩和统计分析等；Holland 提出的分类系统类似于以规则为基础的专家系统，他提出的发现和改进规则的学习算法是对专家系统的重要发展；1988 年美国加州大学的蔡少堂（L. O. Chua）等人提出了细胞神经网络模型，与一般神经网络一样，它是一个大规模非线性模拟系统，同时又具有细胞自动机的动力学特征。在理论工作取得重要进展的同时，硬件实现的研究工作也在积极开展，这方面的工作请参见本书第 12 章及有关文献。

神经网络理论的应用已经渗透到各个领域，并在智能控制、模式识别、计算机视觉、自适应滤波和信号处理、非线性优化、自动目标识别、连续语音识别、声纳信号的处理、知识处理、传感技术与机器人、生物医学工程等方面取得令人鼓舞的进展。

近三四年来的神经网络理论引起了美国、欧洲与日本等国科学家和企业家的巨大热情。脑科学、心理学、计算机科学与信息科学、电子学、控制与机器人等不同学科的科学工作者正在为此目标联合起来，新的研究小组、实验室、风险公司等与日俱增。世界各国也正在组织和实施与此有关的重大研究项目，如美国的 DARPA 计划、日本的 HFSP 计划、法国的“尤里卡”计划、德国的“欧洲防御”计划和苏联的“高技术发展”计划等。1986 年 4 月美国物理学会在 Snowbirds 召开了国际神经网络会议；1987 年 6 月 IEEE 在 San Diego 召开了神经网络国际会议，国际神经网络学会也随之诞生；1988 年元月“神经网络”杂志创刊；1988 年起国际神经网络学会和 IEEE 联合召开每年一次的国际学术年会；IEEE 成立了由其下属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，各种期刊的神经网络特刊层出不穷。虽然有不少人对当前似乎过高的热情存在疑虑，但最悲观的估计仍然认为这一领域的发展会带来重大的科学研究成果和应用前景；而最为乐观的估计则称之为一种新的主义——联结主义，一种能解决诸如知识表达、推理学习、联想记忆乃至复杂社会现象的如浑沌、社会演变等复杂系统的统一模型，它将预示着一个新的工业。

神经网络研究热潮的出现，除了神经科学研究本身的突破和进展之外，更主要的是由于计算机科学和人工智能发展的需要以及 VLSI 技术、生物技术、超导技术和光学技术等领域的迅速发展提供了技术上的可能性。虽然神经网络借鉴了神经科学的基本成果，但对它的全面研究却涉及计算机科学、控制论、信息科学、微电子学、心理学、认知科学、物理学与数学等学科。神经网络的问世标志着认知科学、计算机科学及人工智能的发展又处于一个新的转折点，它的应用和发展不但会推动神经动力学本身，而且将影响新一代计算机的设计原理，有可能为新一代计算机和人工智能开辟一条崭新的途径。同时，它为学习识

别和计算提供了新的现代途径，有可能给信息科学带来革命性的变化。

应当指出的是，神经网络的发展除了上述一些直接原因外，还有一些其它的科学背景。进入 70 年代后，非线性科学取得了迅速的发展，学术界对复杂系统的功能表现出极大的兴趣，Prigogine 因提出非平衡系统的自组织理论（耗散结构理论）而获诺贝尔奖；Haken 研究了大量元件集体作用而产生的宏观有序结构创立了协同学；近年来广泛研究的混沌动力学和奇异吸引子理论揭示了系统的复杂行为。这些工作，从抽象意义上讲，都是复杂系统如何通过元件之间的相互作用，系统结构上由无序到有序，功能由简单到复杂，类似于生物系统的进化过程和智能系统的学习过程。与此同时，神经科学和脑科学日益受到人们的重视，在感觉系统特别是视觉研究中发现的侧抑制原理、感受野概念、皮层的功能柱结构和信息处理的并行、层次观点，被证明是神经系统信息处理的普遍原则。这些原则对于神经网络模型的提出和神经计算机的研制是不可或缺的启示。

神经网络理论就是在这样一种科学背景的支撑下，在生产力发展（计算机与人工智能，机器人产业）的迫切要求下产生和发展起来的。

表 1-1 和表 1-2 分别列出了人工神经网络 (ANN) 的研究历史和神经网络与 AI 的主要历史。

表 1-1 人工神经网络 (ANN) 的研究历史

时 间	贡 献 者	ANN 模 型
1957	Rosenblatt	感知器 (Perceptron)
1961	Steinbuch	学习矩阵 (Lernmatrix)
1962	Widrow	自适应线性元件 (Adaline)
1968	Grossberg	大系统模型
1969	Willshaw	布尔 AM
1971	Amari	布尔网络理论
1972	Anderson	线性 AM
1972	Albus	雪崩网络理论
1972-1984	Fukushima	认识机/神经认知机
1972	Von der Malsburg	自组织原理
1972	Kohonen	AM 理论
1975	Freeman	AM 网络设计
1977	Hecht-Nielsen	自适应大系统
1977	Anderson	BSB-一盒中脑
1978-1986	Grossberg	自适应共振理论 (ART1 和 ART2)