

神经网络计算机

概念、原理、算法、能力

SHENJING JISUANJI

郭治安 高伟光 主编



A1008460

四川教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

神经计算机:概念、原理、算法、能力 / 郭志安主编.
成都:四川教育出版社, 2001.6
ISBN 7-5408-3549-4

I. 神... II. 郭... III. 神经网络-电子计算机
IV. TP389.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 032273 号

责任编辑:赵璧辉

封面设计:金 阳

技术编辑:王 凌

神经计算机

——概念、原理、算法、能力

郭治安、高伟光 主编

四川教育出版社出版发行

(成都市盐道街 3 号 邮政编码:610012)

成都市书林印刷厂印刷

(地址:成都市武侯区机投镇 邮政编码:610205)

开本 880×1230 1/32 印张 11 字数 269 千字

2001 年 11 月第一版 2001 年 11 月第一次印刷

印数:1-1000 册

ISBN7-5408-3549-4/G·3331

定价:22.80 元

本书若出现印装质量问题,请与工厂调换。电话(028)5718031

序 一

在四川教育出版社的大力支持下，由郭治安教授等人编写的协同学应用著作《神经计算机》就要和读者见面了，这是系统科学的又一成果，系统无所不在。

自从 McCulloch 和 Pitts 于 1943 年提出并行计算机概念以来，Rosenblatt 于 1962 年首次模拟人的视神经控制系统制成了视感知机，把神经计算机的概念变成了现实。美国生物物理学家 Hopfield 于 1982 年证明，McCulloch 和 Pitts 模型与固体物理学中的自旋玻璃模型完全等价，把神经计算机的探索提高到理论上的认识水平，对神经计算机发展意义深远。

德国著名理论物理学家、协同学的创始人、系统科学理论的奠基人之一 H. Haken 教授，通过对大脑所作的许多精细实验和数学模拟，发现了大脑工作的自组织本质，首次把神经计算机的概念、原理、设计和应用置于统一的自组织理论基础之上，取得了一系列的突破和进展：模式识别模型不存在局部极小，从根本上避免了以往神经计算机存在伪状态，并为克服伪状态而设计了“模拟退火”的

序

一





繁杂程序；在学习算法设计上直接与存贮的原型模式联系起来，建立了完善的设计理论，不仅在设计时而且在运转中可以直接检验学习效果，避免了以往通过输出中的反馈从而调节权值的不成熟算法；在神经网络的中间层序参量（以往称隐变量）神经元之间采用并行连接，提高了识别速度，成为更加并行化的神经计算机。这些理论上的突破，使得计算机的识别能力达到了可以与生理实验相比美的地步。无论从理论上还是从应用上看，H. Haken 教授的神经计算机当属世界一流。

本书作者怀着对系统科学的满腔热忱和奉献精神，系统整理了 1992 年至今的发展和应用成果，结合我国读者情况，编写了这本深入浅出、图文并茂的好书，它对我国神经计算机产业的发展将作出贡献。

H. Haken 教授是中国系统科学研究会名誉理事，也是我的老朋友，他怀着对中国系统科学的浓厚兴趣曾来我国进行交流。在此书出版之际，我祝愿系统科学继续发扬光大，为我国科技繁荣作出贡献。

中国系统科学研究会理事长

乌杰

2000 年 11 月 20 日于北京

序 二

协同学创始人 H. 哈肯教授，是中国学者所早已熟知的世界著名的系统科学专家。他对中国怀有特殊友好情谊，尤其对中国古代哲学和传统文化有浓厚兴趣，多次来中国出席学术会议和作学术报告，是中国系统科学界的老朋友。

20 世纪 90 年代，哈肯教授在协同学的应用方面有两大重要突破，一是出版了《大脑工作原理》这一影响深远的著作，二是提出了神经计算机的一些新概念。他首次将协同学中自组织的概念、原理和统一的理论体系用于神经计算机的研究之中，建筑了一个新的框架结构，从而把此门学科提升到了一个新境界。哈肯认为，在神经网络上将序参量细胞（即隐变量）并行联接，可以提高识别速度。在模式识别中设计出没有局部极小值——伪状态的标准模型，可以避免以往神经计算机为克服这一困难而采用的繁杂的“退火”程序。同时，哈肯还把学习算法的设计推进到了初步定型的地步，使学习算法不仅在设计时，而且在运转中可检验学习效果，从而避免了以往神经计算机靠输出反馈来调节权值的不成熟算法。因此，学术界认为，哈





肯的神经计算机在性能上当属世界一流。

大连铁道学院教授郭治安先生是中国系统科学研究会常务理事，长期从事协同学的传播和研究工作，与哈肯教授又有多年的学术交往，翻译和撰写了多本协同学方面的著作，为协同学在中国的普及和发展作出了突出贡献。在世纪交替之年，郭治安教授又获大丰收。他在刚刚完成《大脑工作原理》的翻译出版任务之后，又向学术界捧出了《神经计算机——概念、原理、算法、能力》这部可读性很强的大作。最近有幸拜读此书稿，一股世纪之风扑面而来，我确认此书是郭治安教授告别 20 世纪的留言册，又是献给 21 世纪的见面礼，更是国内第一部系统介绍和阐述神经计算机概念及原理的难得的力作，对我国学生和学者尽快和顺利了解神经计算机的前沿知识有重要的桥梁作用，很适合计算机科学、人工智能、脑科学、神经科学、心理学、物理学及数学等学科的学生、教师和研究人员阅读。我热烈祝贺此书的出版，衷心感谢郭治安教授的最新奉献，并向广大读者推荐此书。

是为序。

中国系统科学研究会副理事长
四川大学物理系教授、博士
李后强

2000 年 9 月 28 日于三苏故里

简介

协同学创始人 H. 哈肯教授，自 1991 年正式提出协同计算机以来，经历多年的不断完善和发展，建立了理论完善、设计方案完备、识别能力一流的神经计算机体系，独树一帜。本书以此为主线，全面系统地介绍了它的概念、原理、算法和识别能力。

本书由郭治安教授编写第 1 章；高伟光编写第 2 章和第 3 章；邱明辉编写第 4 章和第 5 章；石爱民编写第 6 章和第 8 章；牟俊云编写第 7 章和附录。

本书图文并茂，深入浅出，是系统阐述神经计算机概念、原理、算法、能力的国内第一部力作。它适合计算机科学、脑科学、神经科学、心理学、物理学、数学以及人工智能等多学科的大学生、研究生、教师及研究人员阅读。



目 录

第1章 引论	(1)
1.1 计算机的发展	(1)
1.2 新概念计算机	(4)
1.3 什么是模式	(13)
1.4 自组织—模式形成	(22)
1.5 认识与模拟	(27)
1.6 联想存贮器	(31)
1.7 大脑结构与功能	(34)
1.8 如何着手	(39)
第2章 协同学概念	(42)
2.1 典型现象	(43)
2.2 系统演化的因素	(46)
2.3 演化方程的解	(51)
2.4 时空模式的形成	(60)
2.5 福克—普朗克方程	(63)
2.6 序参量的作用	(67)
第3章 模式识别模型	(71)





3.1	引言	(71)
3.2	原形模式矢量和试验模式矢量	(77)
3.3	构建动力学	(81)
3.4	势函数 $V(\xi_k)$ 的重要性质	(86)
3.5	识别示例	(94)
3.6	神经网络	(97)
第4章	模式识别的不变性	(107)
4.1	不变性问题	(107)
4.2	傅里叶变换和对数映像法	(110)
4.3	数值计算	(116)
4.4	不变性的另一方法	(119)
4.5	模式的一般变换	(127)
4.6	复合模式识别示例	(133)
第5章	学习算法及相关过程	(137)
5.1	学习算法的探索	(137)
5.2	突触强度	(142)
5.3	信息和信息增益	(152)
5.4	再论神经计算机的基本结构原理	(157)
5.5	通过信息增益的学习	(160)
5.6	梯度动力学的学习算法	(168)
5.7	学习过程的相关活动	(183)
5.8	学习模式	(195)
5.9	学习和序参量	(197)
第6章	模式识别能力	(204)
6.1	引言	(204)
6.2	两可模式的识别	(207)
6.3	滤光照片的识别	(227)
6.4	逻辑运算	(240)

6.5	立体视觉模型	(244)
第7章	运动模式的识别	(258)
7.1	引言	(258)
7.2	食指摆动的转变	(259)
7.3	食指摆动的实验研究	(270)
7.4	动物步态及其转变	(275)
7.5	相动力学方程及其解	(281)
7.6	踏板轮运动	(285)
7.7	行为模式的识别算法	(293)
7.8	识别示例	(295)
第8章	回顾与展望	(306)
8.1	模拟动力学	(307)
8.2	大脑网络	(311)
8.3	神经元的发放与锁频	(314)
8.4	结语	(323)
附录 A	卡尔胡宁—勒夫展开	(327)
附录 B	哈肯—弗里德里希—乌尔方法	(333)
主要参考文献		



第1章 引 论

本章主要介绍神经计算机，或者协同计算机的主要概念。为后续章节的逐步深入探讨提供必要的基础知识。

1.1 计算机的发展

在人类进入信息时代的今天，物资、能源和信息已成为三大资源。社会在发展、科学在进步、技术在创新、知识在膨胀，几乎每时每刻都在产生大量信息。信息文件多如瀚海，这单靠增加办公人员来进行处理是难以做到的。计算机在信息收集、存贮、传送和处理方面表现的非凡能力，使它成为信息管理的有力工具，给社会带来了巨大的价值。

计算机是一种能够自动、高速进行科学计算和信息处理的工具。计算机不仅具有计算功能，还具有记忆和逻辑推理的功能，它可以代替人的某些简单而繁琐的脑力劳动，所以人们又称它为电脑。计算机的显著特点有：

(1) 运算速度快。现代计算机的运算速度可达到每秒几千亿次，这是人的大脑远不能比拟的。这种高速度的运





算能力，使得过去人工无法完成的计算问题成为可能。

(2) 计算精度高。计算机多采用二进制进行计算，可通过增加表示数的二进制位数提高计算精确度。再加上某些技巧，使得计算机的数值计算越来越准确。比如，对圆周率的计算，计算机可轻而易举地给出小数点后几万位，这是以往的人工计算所望尘莫及的。

(3) 运算过程自动化。由于计算机有记忆功能，因此用计算机求解一个问题时，可将所编程序和数据存贮于计算机的记忆单元中。计算机启动后会按照程序自动进行运算，直到完成任务。

(4) 通用性。由于计算机同时具有计算和逻辑推理的功能，因而它不仅可以进行数值计算，而且可以对非数值信息进行处理。如信息检索、图形图像处理、文字和语言的识别与处理等。于是计算机被广泛运用于计算、事务处理、自动控制、辅助设计等诸多方面。

正因为计算机有上述那些无比的优越性，所以计算机的生产和应用发展很快。根据计算机的不同用途以及所需要的综合处理能力，可将其分为巨型机、大型机、小型机和微机四种类型。巨型机具有最高的运算速度和最大的存贮能力。如国防科技大学研制的“银河”序列计算机，其运算速度可高达每秒千亿次。它被广泛应用于尖端领域，如核武器、反导弹武器、空间技术、大范围天气预报，石油勘探等。大型机通用性好，具有很强的综合处理能力，运算速度可达千万次以上。它可同时接上万台终端和外设，被广泛应用于公司、银行、政府机关和制造厂家。小型机的运算速度可达几百万次或更高，主要用于企业管理、科学计算、数据采集分析计算等。微机小巧轻便、价格便宜。其运算速度从几十万次到几百万次。它促进了计算机应用

的广泛普及。

在走向信息高速公路的今天，计算机被广泛应用于工业、农业、科技、国防、文教、卫生、金融、商业各个领域，甚至已渗透到家庭生活的各个方面，成为现代人类生活不可缺少的工具，促进了物质文明和精神文明的极大进步，引起了社会的深刻变革。目前，世界各国都在大力发展计算机产业和扩大计算机的应用范围。

从世界上第一台计算机问世，迄今 50 多年中，计算机在逻辑器件、软件及应用方面已经更新了四代，现正处于新一代变更时期。

1946 年，美国宾夕法尼亚大学研制的第一台电子计算机 ENIAC，重达 30 吨，使用了 18000 个电子管，1500 个继电器，耗电 150 千瓦，占地 170 平方米，每秒可进行 1500 个减法运算。从此开辟了计算机时代。

第一代计算机（1946~1957）：特征是采用电子管作逻辑元件，用阴极射线管或汞延迟线作存储器，外设纸带、卡片等。程序设计使用机器语言和汇编语言，运算速度从每秒几千次到几万次，主要用于科学计算。

第二代计算机（1958~1964）：特征是用晶体管作逻辑元件，用磁芯作主存储器，外设磁带、磁盘等。运算速度为每秒几十万次，程序设计使用 FORTRAN，COBOL，ALGOL 等高级语言。它比第一代计算机体积小、耗电少。除数值计算外，第二代计算机还可进行数据处理、事务管理及工业控制等。

第三代计算机（1965~1971）：特征是用中、小规模集成电路代替了分立元件，用半导体作存储器，运算速度为每秒几十万次到几百万次。计算机的设计走向标准化、模块化、系列化。计算机的兼容性更好，成本更低，应用更





广。

第四代计算机（1972~1980）：特征是以大规模集成电路（LSI）为计算机的主要功能元件，用16K、64K或集成度更高的半导体芯片作存储器，运算速度达到每秒几百万次直到上千亿次。在系统结构上采用并行处理技术，分布式计算机系统和计算网络等。在软件方面采用数据库系统，高效可靠的高级语言及软件工程标准化等。第四代计算机开始应用到了尖端科学、军事工程、空间技术、大型事务处理等领域。

虽然计算机的运算速度十分惊人，但遇到模式识别等问题却显得无能为力，这不得不使人们从计算机的概念和原理上进行新的探索。从1982年以来，各国研制的新一代计算机突破了“计算”这一初级含义，突破了原有计算机系统的结构模式，以全新的概念、结构原理向智能化方向发展。智能计算机通过现代数学、物理学、信息论、控制论、神经心理学、生理学等相关多学科知识的综合，从而达到模拟人的感觉、行为、思维的逻辑机理。智能计算机应具备“视觉”、“听觉”、“语言”、“行为”、“逻辑推理”、“学习”、“证明”等能力。新一代计算机发展的典型例子就是本书将要介绍的协同计算机，即（视觉）神经计算机。

1.2 新概念计算机

要阐明计算机遇到的挑战和神经计算机的产生背景，这就涉及到有关计算机原理、算法等一系列问题。

产生计算机的直接原因是想把繁琐而枯燥的数字计算机机械化，从而节省人的精力并提高运算效率。最早出现的机械计算器是数学家莱布尼兹（Leibnitz）于1671年设计的乘法算机，一个法国钟表匠于1674年制造出莱布尼兹乘

法机。这种机械计算器可以进行加、减、乘、除运算。后来，楚泽（Zuse）和冯·诺伊曼（Von Neumann）发明了高效的计算机结构，以及 1946 年电子计算机的出现和发展，把计算机技术向前推进了一大步。按照冯·诺伊曼于 1944 年设计的计算机结构，计算机有运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备等五部分组成。各部分之间关系的方框图见图 1.1。用计算机解题时，事先要编写计算机程序，

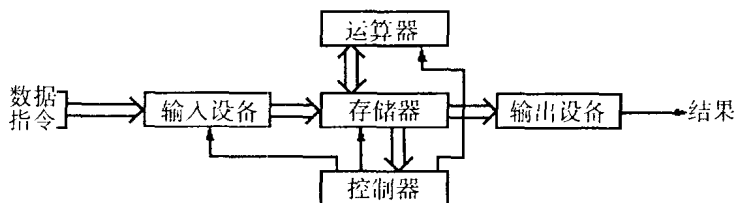


图 1.1 计算机的基本组成

并用一条一条的指令表达出来。计算前，把程序和数据通过输入设备输入到存储器。计算机启动计算时，控制器将程序指令逐条取出并进行规定的运算，再将计算结果送回存储器。运算完毕，将结果通过输出设备送到计算机外部。不论解决多么复杂的问题，计算机都是通过依次执行若干简单、基本的操作来完成。每台计算机都规定一定数量的指令。一台计算机所执行的指令总和称为指令系统。不同计算机具有不同的指令系统。如 Z80 有 158 条指令；Intel8088 有 100 条指令。由此可见，计算机由执行各种运算和记忆的加工程序组成。从电子开关装置到第一代计算机以后，现代计算机以半导体电路的组件为基础，用硅集成电路块集中了能完成各种功能的元件。下一代的计算机往往还要加上激光和分子电子学技术。尽管从第一代到第四代计算机扩大了存储容量，提高了运算速度，但计算过程





和原理却是相同的，即都是按照程序依次进行的顺序运算，这有时会使计算机的计算嵌入闭环。比如，通过重复各个计算步骤求解问题的渐近解时，得到了循环数字。计算机的元件是能够完成所谓布尔（Boolean）代数运算的逻辑元件，它不是数字运算，而是通过符号（比如“和”与“或”）进行的逻辑运算。在水管上装配简单的机械装置，就可以进行这种逻辑运算。在二进制系统，可以简单的把逻辑运算与数字计算中的加、减、乘、除联系起来。小学生都知道，乘法规则包括 $0 \times 0 = 0$, $0 \times 1 = 0$, $1 \times 0 = 0$, $1 \times 1 = 1$ 。在图 1.2 的装水连通器中，如果将 0 和 1 分别与满和空对应起来，就成为模拟乘法规则的水位计算机，它实现了逻辑运算“或”。同样，也可以模拟其他代数运算和逻辑运算规则。

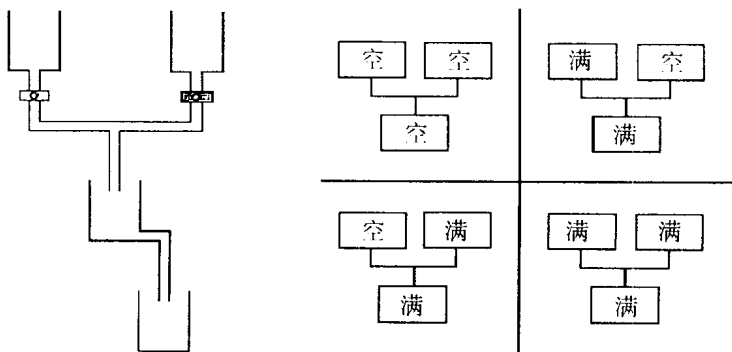


图 1.2 右图表示几种可能的情况，用装水连通器实现逻辑功能“或”的例子

从第一代到第四代计算机，其计算技术理论中的一个重要概念是图林（Turing）机，确切地说是通用图林机，它是英国著名数学家图林于 1936 年设计的。图林机把数字编码程序打印在磁带上。数字编码有两种，一种是磁头读