

神经网络 及其在汽车工程中的 应用

◎ 王文成 编著



北京理工大学出版社

神经网络及其在汽车 工程中的应用

王秉成 编著

北京理工大学出版社

2/26/05

内 容 简 介

本书系统地论述了高新技术领域中的一个重要分支——人工神经网络的基本概念,包括各种重要网络的拓扑结构、工作原理、学习算法及其应用。全书共分九章。第一章主要阐述人工神经网络的特点及其发展简史;第二章介绍神经网络的工作过程等基本概念;第三章至第六章结合应用实例详细地介绍了几种常用神经网络;第七章较深入地讨论了一些在神经网络应用设计中遇到的实际问题;第八章介绍了一些近年来国外发达国家在汽车工程中应用神经网络的工程实例;第九章给出了作者用 MATLAB 语言编制的常用神经网络的通用程序,供读者使用。

本书取材新颖、明了易懂、内容丰富、实用性强,便于读者较快掌握和应用神经网络技术。本书可作为理、工、农、医、军和经警类大学有关专业本科生、硕士及博士研究生教材,亦可供有关科研和工程技术人员自学用。

图书在版编目(CIP)数据

神经网络及其在汽车工程中的应用/王文成编著. —北京:
北京理工大学出版社,1998.7
ISBN 7-81045-430-7

I. 神… II. 王… III. 人工神经-神经网络-应用-汽车
工程 IV. U46-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 13310 号

责任印制:母长新 责任校对:陈玉梅

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

邮政编码 100081 电话:(010)68912824

各地新华书店经售

北京房山先锋印刷厂印刷

*

850 毫米×1168 毫米 32 开本 10.75 印张 272 千字

1998 年 7 月第 1 版 1998 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:17.00 元

※ 图书印装有误,可随时与我社退换 ※

出版说明

为贯彻汽车工业产业政策,推动和加强汽车工程图书的出版工作,中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成,其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括:学术水平高、内容有、创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材;学术思想新颖、内容具体、实用,对汽车工程技术有较大推动作用,密切结合汽车工程技术现代化,有高新技术内容的工程技术类图书;有重要发展前景,有重在使用价值,密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书;反映国外汽车工程先进技术的译著;使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中,实行专业学会、企业、学校、研究所等相互结合,专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验,委员会推荐出版的图书难免存在不足之处,敬请广大同行和读者批评指正。

本书由王文成编著,戴逸松主审,经专家委员会评审逸过、推荐出版。

汽车工程图书出版专家委员会

前 言

“在计算机领域中，必须而又有可能突破的是人工智能。例如，人穿越马路时眼观四方，就能立即作出判断，以免与车辆相撞。若用亿万次级 Cray 计算机来做这件事，需要的计算机数量是惊人的，将它们并行排起来，可布满美国的德克萨斯州，约占中国领土的四分之一。这说明人脑远比计算机聪明。虽然人脑的运算速度不及计算机，但运算法则优越得多。要创造发展计算机，就必须了解人脑。这正是有待创新的领域：人工智能、神经网络和神经生物学。”前美国总统科学顾问乔治·基沃恩在谈到当代高新技术时这样说。同样地，一个连最简单的加法也不会的幼儿却能从人群中一眼识别出自己的母亲，而这也是传统的数字计算机所难以达到的。

这表明：尽管建立在 Von Neumann 体系基础上的基于算法和程序存取式的传统计算机在运算速度、运算结果的精确度及其可靠性方面都远远超过人脑，但由于它始终未能跳出数字和逻辑运算的范畴，因而对模糊信息的识别与处理能力以及形象思维能力，与人脑的功能相比，却是望尘莫及的。

大自然造就了完美的人脑。她是几亿年自然进化的结晶，是迄今已知宇宙中最复杂、最完善和最有效的信息处理系统，也是生物进化的最高产物。起初人们并未认识到那一团灰白色多皱而又死寂的大脑竟与思维和情绪有关，还误以为那颗不断跳动的心脏才是灵魂、思维和感情的源泉。两百多年来，人们逐步对构成脑的基本元素——神经元的功能和连结机理有了深入地了解，从而提出了“突触学说”为现代神经心理学、神经网络计算机科学和控制理论的发展奠定了基础。经过近半个世纪的探索，几经周折，一门崭新的向人类自身大脑学习的新学科——人工神经网络（Artificial Neural Networks，缩写 ANN）应运而生，并进入了蓬

勃发展时期。

智能理论的主要研究任务是揭示人类认识事物的过程，并用人工方式模仿人类智能行为。在如何模仿人类智能行为这一问题上存在两种主张：一种是主张从结构上模拟人脑，以期获得类似人脑功能的结构主义；另一种主张则是从输入-输出功能上探索与人脑功能相似的人工智能系统，而不问其系统结构的功能主义。

传统人工智能理论便是基于功能主义的研究方法，借助 Von Neumann 数字计算机的软件程序实现人类左脑对数字和逻辑运算的功能。然而，众所周知：客观存在的信息处理问题概括地说可分为结构性与非结构性问题两大类。数字计算机仅适于处理数字计算或数学方程求解等结构性问题。它把任何问题的解决都视为某种计算过程，并要求把这种计算过程以程序的形式预先编制好，方可进入计算机获得精确解。

遗憾的是，数字计算机仅适于处理数字计算或数学方程求解等结构性问题；因为在处理难以用算法来描述的模糊信息等非结构性问题时，人们无法把自己的认识以数字计算机所能接受的语句形式表达出来。传统人工智能理论及数字计算机对解决非结构性问题，显得无能为力、异常笨拙。因此，被人们誉为“电脑”的传统计算机其实是一个只能进行数字和逻辑思维的不完善的大脑。

以结构主义为研究方法的人工神经网络，由于模仿了人类大脑的结构，而从根本上摆脱了传统数字计算机的模式，从而具有形象思维能力以及对模糊或随机信息的识别与处理能力，以善于解决非结构性问题而引起世人巨大的兴趣，并成为人工智能理论研究的一个新的受人青睐的领域。目前，这门新兴学科所显示的强大生命力，已经成为全世界关注的高科技热点之一。

尽管人们目前还难以估量人工神经网络对人类未来科学发展和社会文明会起到怎样的推动作用，但是这种旨在模仿人脑结

构、思维原理从而获得人脑功能的再现，无疑是极富挑战性的伟大的科学探索。

目前，学习和掌握 ANN 技术并用于解决实际工程问题，已成为高校广大师生和各领域科技工作者的迫切愿望。近年来，国内已陆续出版了一些这方面的书籍，但有的陷入繁琐的数学推理，使渴望掌握和运用这门新技术的初学者望而生畏、苦于无法入门；有的则是综述性的介绍或缺乏基础理论和必要系统性的论文集。正是这种感受，驱使作者编写此书，以期能为高校本科生、研究生以及各领域的广大科技工作者，提供一本突出基本原理和实际应用的教材。但作者深知这一任务的艰巨性，本书仅只是一种大胆的尝试而已。

在内容取舍上，书中着重物理概念的论述，避弃过多的数学分析，对读者没有过深预备知识的要求。为避免“神秘感”，在讲清各类 ANN 工作原理的基础上，落实到具体的学习算法，并给出计算实例以深化对学习算法的感性理解。

汽车工业是国民经济的重要支柱性产业。作为多技术综合载体的汽车工程，迫切需要当代高新技术的支撑。为此，书中参考近年来国外有关文献，结合作者的科研成果，以较大的篇幅详细地介绍了一些颇具启发意义的神经网络在汽车工程中的应用实例。

从实用角度出发，本书还讨论了在神经网络应用设计中必然要遇到的变量选择及其表示方法、训练数据的准备以及设计技巧等欲应用神经网络的读者所关心的实际设计问题。

书中还介绍了特别适于神经计算的 MATLAB 语言，并给出了用该语言编制的经过运行检验的常用神经计算（BP 算法和 KOHONEN 算法）的通用程序，以供读者使用。本书第九章由作者的研究生周晓晖编写。

编著者对上海铁道大学博士生导师胡子正教授和北京理工大学出版社在本书出版过程中所给予的热忱支持，吉林工业大学博

士生导师戴逸松教授为审阅本书手稿所付出的辛勤劳动，吉林工业大学教材建设基金的资助，表示由衷的感谢；同时感谢研究生姚建辉、徐大千和于影为本书绘制插图。

最后，限于作者水平，加之成书仓促，书中难免存在不妥或错误之处，恳请同仁和读者不吝指正。

王文成

一九九七年十一月

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 什么是人工神经网络	(2)
1.2 人工神经网络的特点	(3)
1.3 人工神经网络发展简史	(9)
第二章 人工神经网络的基本概念	(15)
2.1 生物神经元结构	(15)
2.2 人工神经元	(17)
2.2.1 人工神经元结构	(17)
2.2.2 转移函数	(19)
2.3 人工神经网络的拓扑结构	(21)
2.3.1 前馈式网络	(22)
2.3.2 反馈式网络	(26)
2.3.3 混合式网络	(27)
2.4 人工神经网络的工作过程	(27)
2.4.1 学习过程	(27)
2.4.2 运行过程	(29)
2.5 神经网络的学习规则	(32)
2.5.1 Hebb 学习规则	(33)
2.5.2 感知器学习规则	(35)
2.5.3 Delta 学习规则	(36)
2.5.4 Widrow-Hoff 学习规则	(39)
2.5.5 相关学习规则	(40)
2.5.6 胜者为王学习规则	(40)
2.5.7 外星学习规则	(41)
第三章 前馈神经网络	(43)
3.1 感知器	(44)

3.2	多层感知器	(52)
3.3	自适应线性神经元组成的网络	(55)
3.3.1	ADALINE	(55)
3.3.2	LMS 算法	(56)
3.3.3	ADALINE 的应用	(59)
3.4	BP 算法	(61)
3.4.1	单层网络的 BP 算法	(62)
3.4.2	多层网络的 BP 算法	(68)
3.4.3	BP 算法的向量表达式	(70)
3.4.4	BP 算法的信号流程图	(73)
3.4.5	标准 BP 算法与累积误差 BP 算法	(74)
3.5	BP 网络的泛化能力	(77)
3.6	BP 网络与专家系统	(79)
3.7	标准 BP 算法的改进	(84)
3.8	径向基函数网络	(89)
第四章	反馈网络	(96)
4.1	反馈网络的概念	(97)
4.2	离散型 Hopfield 网络	(103)
4.2.1	DHNN 的拓扑结构	(104)
4.2.2	稳定性与吸引子	(109)
4.2.3	网络容量	(119)
4.3	连续型 Hopfield 网络	(120)
4.3.1	CHNN 的拓扑结构	(120)
4.3.2	能量函数	(122)
4.4	连续 Hopfield 网络的应用	(123)
4.4.1	A/D 转换网络	(123)
4.4.2	TSP 问题	(127)
4.5	递归 BP 网络	(134)
4.6	双向联想记忆网络	(138)
4.6.1	拓扑结构与运行原理	(139)
4.6.2	Kosko 学习规则(外积和法)	(141)
4.6.3	稳定性与能量函数	(142)

4.6.4	BAM 与 DHNN	(144)
4.6.5	BAM 网络的存储容量	(145)
4.7	几种改进的 BAM 网络	(148)
4.7.1	多重训练法	(148)
4.7.2	哑增强法	(150)
4.7.3	快速增强算法	(151)
4.8	BAM 在模式识别中的应用	(161)
第五章	随机神经网络	(164)
5.1	模拟退火算法	(166)
5.2	Boltzmann 机	(168)
5.2.1	拓扑结构	(168)
5.2.2	学习算法	(170)
5.3	Cauchy 机	(174)
第六章	自组织神经网络	(176)
6.1	Hamming 网络与竞争网络	(176)
6.1.1	Hamming 网络	(177)
6.1.2	竞争网络	(180)
6.2	聚类的无监督学习	(185)
6.2.1	相似度的判定	(185)
6.2.2	胜者为王的学习规则	(187)
6.2.3	死神经元问题	(193)
6.2.4	Kohonen 网络聚类的局限性	(194)
6.3	自组织特征映射神经网络	(195)
6.3.1	特征映射的概念	(195)
6.3.2	自组织特征映射网络的算法	(202)
6.3.3	输入向量归一化问题	(208)
6.4	对偶传播网络	(210)
6.5	自适应共振理论网络	(214)
6.5.1	ART1 网络工作原理	(216)
6.5.2	ART1 的拓扑结构	(217)
6.5.3	网络工作原理	(219)
6.5.4	ART1 应用实例	(224)

第七章 神经网络应用设计	(232)
7.1 哪些领域适于应用 ANN 技术?	(232)
7.2 前馈网络设计	(238)
7.2.1 隐层数的确定	(239)
7.2.2 隐层神经元数的确定	(240)
7.2.3 训练次数的确定	(245)
7.2.4 训练集的设计	(247)
7.2.5 初始权值的选择	(250)
7.2.6 网络泛化能力的检验	(252)
7.3 变量的选择	(253)
7.4 变量表示法	(254)
7.4.1 输入	(254)
7.4.2 输出	(259)
7.5 网络数据的准备	(261)
7.5.1 归一化	(261)
7.5.2 标准化	(262)
7.5.3 重新定标	(264)
7.5.4 变换	(264)
7.6 网络权值分析	(265)
第八章 神经网络在汽车工程中的应用	(269)
8.1 机械式汽车自动变速器最佳挡位判定	(270)
8.1.1 换挡规律的在线学习	(271)
8.1.2 换挡死区问题	(272)
8.2 四轮车辆转向的主动控制(方案一)	(273)
8.2.1 车辆动态模型离线辨识	(274)
8.2.2 系统辨识结果	(275)
8.2.3 神经控制器	(276)
8.2.4 车辆动态模型在线辨识	(278)
8.3 四轮车辆转向的主动控制(方案二)	(279)
8.3.1 混合式车辆动态模型辨识	(280)
8.3.2 混合式控制系统	(282)
8.3.3 仿真结果	(283)

8.4 神经驾驶员—车—路闭环转向控制系统	(284)
8.4.1 工作原理	(285)
8.4.2 硬件环境	(287)
8.4.3 实验结果	(288)
8.5 神经网络自动刹车控制系统	(290)
8.5.1 自动刹车控制系统	(290)
8.5.2 前馈控制器的学习	(295)
8.6 载重车柴油机燃烧系统的优化问题	(296)
8.6.1 问题的提出	(296)
8.6.2 训练样本的获取	(297)
8.6.3 数据的表示	(298)
8.6.4 多层前馈网络的逆映射问题	(300)
8.7 神经轮胎的动态模型	(302)
8.8 带噪声汽车牌照的识别	(304)
第九章 MATLAB 语言	(308)
9.1 概述	(308)
9.2 MATLAB 有关函数及命令	(311)
9.3 程序实例	(318)
9.3.1 两隐层 BP 算法通用程序	(318)
9.3.2 自组织特征映射(KOHONEN 算法)通用程序	(324)
参考文献	(328)

第一章 绪 论

众所周知,划分第一、二、三、四代数字计算机的主要依据是其硬件,即电子管、晶体管、集成电路和超大规模集成电路。而被称为第五代计算机的人工智能计算机乃是对传统的 Von Neumann 原理计算机通过编程的方法,使其能完成一定的智能工作。因此说迄今为止的各代计算机都是基于 Von Neumann 工作原理,它们处理信息的方式都是串行的,即 CPU 不断地重复取指—译码—执行—存贮这四个步骤。一切都是由预先编定的程序按串行方式进行的。传统计算机的结构和串行的工作原理决定了它只擅长数字和逻辑运算,而不善于识别和处理模糊信息。此外,串行工作方式还导致数字计算机在运算速度上存在的“瓶颈”问题。

如果说 Von Neumann 计算机是指令程序式计算机或算法计算机的话,神经计算机(Neurocomputer)则是非程序计算机。不论在其结构、工作原理还是功能方面均与传统的数字计算机有着本质的区别。它更加接近人脑,系大脑风范式的。ANN 无程序,因为它不按指令操作,而是对并行加入的输入信号按并行方式处理,并输出其结果。ANN 学习的过程就是神经元之间连结强度随外界激励信号做自适应调整的过程。处理信息的结果也并非存于某些特定的存贮单元中,而是通过训练达到稳定时,网络的整个状态就是所求的结果。可以把 ANN 按照某种学习规则不断修改网络权矩阵的学习过程,看成是传统计算机的编程过程;而对信息的处理(或计算)过程是在网络中神经元状态不断地变化过程中悄悄完成的;网络状态演变的时间就是对信息的处理(或计算)时间。

1.1 什么是人工神经网络

人脑约由 10^{10} 个神经细胞组成,数量之庞大,近似茫茫宇宙中星星的数目。细胞之间相互连结,形成纵横交错的网络式结构。每个胞细胞约有 10^4 条途径与其它细胞相连,构成一个非常复杂的信息处理网络。仿此,人工神经网络也是由众多十分简单的人工神经元按一定规律有机地联结起来而构成的。网络中信息的传播、存贮方式都与生物神经网络相似,是并行式的“集体”工作方式。它没有大家熟悉的传统数字计算机的运算器、存贮器和控制器这类“专职”部件,有的只是众多相同的简单神经元的组合。信息存贮在各神经元之间的连结权上。从结构到工作原理均与传统计算机有本质的区别。

由于这种信息处理系统是人工的模仿人脑神经网络而建立的,故称人工神经网络。为简便起见,也常省略“人工”两字。

应该指出,这种模仿目前还是极低水平的,还远远不是人脑结构和功能的真实写照。要客观地看到,虽然经过脑神经科学工作者数十年的探索,迄今为止对生物神经网络的结构和功能的了解仍知之甚少。要揭开人脑之奥妙,不仅需要各领域专家们的交叉协作研究,还有待于人类探测手段的进一步发展。这一艰巨的任务,似乎难以在数十年内臻效。但尽管如此,目前已提出上百种 ANN 模型。其中有的是从人脑生物原型中得以借鉴,因而在一定程度上模仿了人脑的某种功能。但也有一些是从数学模型中导出的。不论它们是从何种途径诱发而生成的,事实上它们在模式识别、系统辨识、信号处理、自动控制、组合优化、预测预估、故障诊断、专家系统以及经济管理等领域已确有成效地解决了许多传统数字计算机所难以解决的实际问题,表现出了很好的智能特性和潜在的应用前景。

关于人工神经网络的定义,1988 年美国国防高级研究计划局

的解释是,“……人工神经网络是一个由许多简单的并行工作的处理单元组成的系统,其功能取决于网络的结构、连结强度以及各单元的处理方式”。

据 Haykin S. 1994 年所著《神经网络》一书,“……神经网络是一个大规模并行的分布式处理器,它具有存贮并能利用经验知识的能力。在以下两方面很像人脑:①网络通过学习获得知识;②知识存贮在用以描述神经元之间连结强度的权值中”。

我们不妨简单地表述为,人工神经网络是一种旨在模仿人脑结构及其功能的信息处理系统。

值得指出的是,有人认为人类连自己大脑的工作机理尚未完全清楚,研究人工神经网络纯系异想天开。这种看法既不符合目前 ANN 研究已经取得的成就的事实;也不符合辩证认识论的规律。我们认为:一方面,随着对人脑了解的深入,必将推动 ANN 迅速发展;另一方面,ANN 机制的研究又可反过来启发和加深人们对生物脑的运行机制的认识。如果人脑简单到很容易理解的程度,那么我们的智力就会低到还是难以理解她的程度。应该坚信,最终人类是有能力用自己的大脑揭开自己脑的奥秘的!

1.2 人工神经网络的特点

人脑的功能虽十分复杂、完善,但单个神经元的结构和功能却是相对简单而有限的。人脑大约由 10^{10} 数量级的神经元组成。正是这些众多结构简单、功能有限的神经元的“微观”活动,构成了人脑活动的复杂的“宏观”效应——能完成各种极其复杂的信息识别和处理任务。

1. 并行结构与并行处理

在数字计算机中,不论就空间还是时间意义上讲,计算与存贮都是完全独立的两个部分:在时间上是串行的;在空间上是在两个

不同地方完成的。正因如此,才产生了困扰数字计算机的“瓶颈”问题。ANN 是以模拟生物神经系统为基础的,而生物神经系统中既没有一个统一的时钟来同步各神经元的翻转,也没有硬性限制一次只能有一个神经元改变状态的异步逻辑。因此,数字逻辑电路的原理不适于生物神经系统,用模拟电路描述神经系统要更为合适。

ANN 的一般结构如图 1-1 所示。

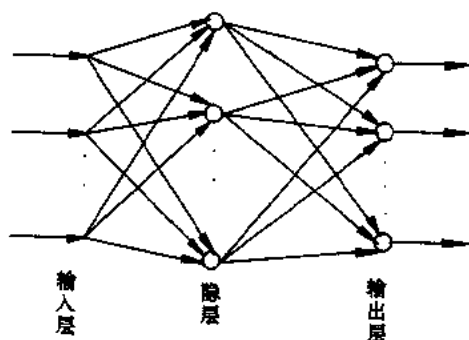


图 1-1 神经网络的一般结构

在 ANN 中,不论是单个神经元还是整个神经网络都兼有信息处理和存贮的双重功能,而且这两种功能是合二而一、自然地融合在同一网络中,即信息的存贮体现在神经元互连的分布网络中,故称分布式存贮。尽管每个生物神经元的响应速度并不很快,大约 ms 级,比电子元件慢若干个数量级,但由于网络中的神经元是并行工作的,所以对同一个复杂过程的识别、处理与判断决策时间要远远小于数字计算机。换句话说,ANN 工作的并行性为信息的高速处理创造了条件。

值得指出的是,目前在 ANN 的实现手段上,因受硬件条件的限制,常用传统数字计算机的串行工作方式来模仿神经网络的并行工作方式,所以速度显得较慢,只有全硬件实现的 ANN 才具有