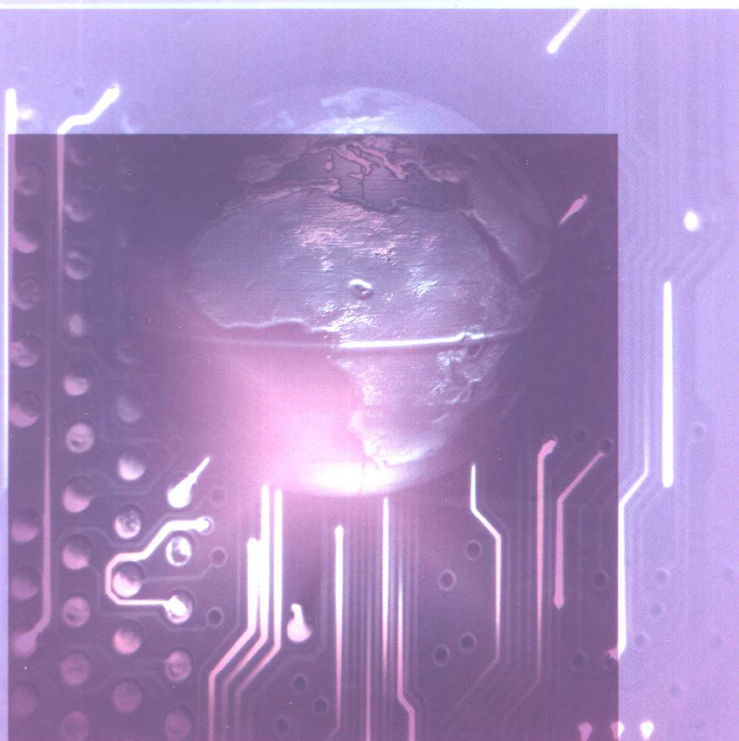


● 高等学校研究生系列教材

人工神经网络导论

Introduction to Artificial
Neural Networks

蒋宗礼



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校研究生系列教材

人工神经网络导论

蒋宗礼

高等教育出版社

内容提要

本书依照简明易懂、便于软件实现、鼓励探索的原则介绍人工神经网络。内容包括:智能系统描述模型,人工神经网络方法的特点;基本人工神经元模型,人工神经网络的基本拓扑特性,存储性能及学习;感知器与线性不可分问题,Hebb 学习律,Delta 规则;BP 算法及其原理分析,算法改进讨论;对传网的结构及其运行,对传网的初始化与训练算法;统计网络的训练与收敛性分析;Hopfield 网络及稳定性,Boltzmann 机;双联存储网络的结构及训练;ART 模型的结构分析与实现。

本书适合于研究生和本科高年级学生使用,也可供有关学生、科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

人工神经网络导论/蒋宗礼编著. —北京:高等教育出版社,2001.8
计算机专业教材
ISBN 7-04-010197-1

I. 人… II. 蒋… III. 人工神经元网络—高等学校—教材 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 044745 号

责任编辑 何新权 封面设计 王凌波 责任校对 何新权 责任印制 宋克学

人工神经网络导论
蒋宗礼

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京人卫印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2001 年 8 月第 1 版

印 张 7.5

印 次 2001 年 8 月第 1 次印刷

字 数 170 000

定 价 12.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

1989年,作者到美国新墨西哥州立大学计算机科学系做访问学者,开始学习人工神经网络。回国后,在哈尔滨工业大学为硕士研究生开设相应的选修课程。本书是在多年来所用的讲稿的基础上修改形成的。

人工神经网络的发展几经起伏,目前已有很广泛的应用。从作者开始接触该领域时的亲身感受,到了解到的中外学生初学人工神经网络所反映出的情况,我感到,开始的时候,总有一种比较神秘的感觉,加上有的资料在介绍人工神经网络时比较重视深入和全面,偏重于理论,更使得初学者在一定的时间内难以获得适当的进步,尤其是对网络基本模型的形成感到有很大的困难。为解决此问题,本书主要介绍人工神经网络的基本构成和基本的网络模型,意在使读者对人工神经网络有一个基本的了解,为他们今后从事人工神经网络的研究和应用打下一定的基础。第二个问题是人工神经网络的实验实现和应用实现问题。目前,人工神经网络有硬件实现和软件模拟两种方式。因条件所限,绝大多数初学者都是通过软件的模拟实现来体验其功能及运行特性的。而且,国内大多数的应用也是用软件实现的。因此,本书在介绍基本的人工神经网络模型的同时,还注意从软件实现的角度介绍相应的算法,甚至在最初的典型模型的介绍中,还给出了算法的具体实现。所以,本书的基本目的是:通过对人工神经网络基本构造和基本模型的介绍,使读者对其基本方法有一个基本的掌握,并能掌握如何设计出适当的计算机模拟程序,将学生引入人工神经网络及其应用的研究领域。第三是关于教育面向21世纪的问题。21世纪的科技进步、社会发展将呈现更高的速度。新世纪对学生的要求的最大不同是对其创新以及创新性地接受新技术的能力有着更高的要求。因而,除了知识的传授之外,更重要的是加强对学生创新能力的培养。总结各方面的经验,作者认为要想按照时代的要求,实现对学生“知识、能力、素质”三方面的教育,加强对学生创新能力的培养,必须重视对知识的“载体属性”的开发利用,增加教育中的理性成分。1999年下半年,作者提出了“研究型教学”的概念,希望能将现在流行的知识型教学改为“研究型教学”,以便使学生建立起强烈的探索意识,培养其创新能力。对此,本人在写作中也做了探索性的尝试。在内容组织上,没有去追求知识的全面、完整,而是希望通过对一些典型网络模型的叙述,向读者介绍问题的求解方法,尤其是人工神经网络方法。虽然有多年的积累,但是“研究型教学”的概念才被提出,还需要进一步地丰富,所以这里只能说是一个非常初步的尝试。

其次,作为人工神经网络的入门,作者希望通过对人工神经网络及其基本网络模型的介绍,使学生初步了解智能系统描述的基本模型,掌握人工神经网络的基本概念、单层网、多层网、循环网等各种基本网络模型的结构、特点、典型训练算法、运行方式、典型问题、软件实现方法等。这些主要算作是“知识、能力、素质”三方面教育的知识基础部分。另外,本人还希望读者能将所学

的知识与自己未来研究课题(包括研究生论文阶段的研究课题)结合起来,通过查阅适当的参考文献,达到既丰富学习内容,又有一定的研究和应用的目的。所以,希望本书能够简明易懂、便于软件实现、鼓励研究探索。

本书分八章对人工神经网络进行介绍。第一章介绍智能的概念、智能系统的特点及其描述基本模型以及人工神经网络的特点、发展历史。第二章为人工神经网络基础,概要介绍人工神经网络的一般特性,主要包括:生物神经网络模型、人工神经元模型与典型的激励函数;人工神经网络的基本拓扑特性、存储类型及映象、训练。第三章介绍感知器与线性不可分问题、Hebb 学习律、Delta 规则。第四章介绍 BP 网络的构成及其训练过程。第五章介绍对传网的网络结构、训练。第六章介绍统计方法,主要包括:统计网络的基本训练算法、模拟退火算法与收敛分析、Cauchy 训练,人工热与临界温度在训练中的使用。第七章介绍循环网络,主要包括:循环网络的组织,稳定性分析;统计 Hopfield 网与 Boltzmann 机;基本双联存储网络的结构及训练。第八章介绍简单 ART 模型的总体结构、训练、实现。

国防科技大学的胡守仁教授审阅了原稿,提出了许多宝贵的意见和建议,在此对胡先生认真负责的精神以及对作者的帮助和爱护表示真诚的谢意!由于作者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2001.2

目 录

| | | | |
|---------------------------------------|------|----------------------------------|------|
| 第一章 引言 | (1) | 2.5.1 无导师学习 | (27) |
| 1.1 人工神经网络的提出 | (1) | 2.5.2 有导师学习 | (28) |
| 1.1.1 智能与人工智能 | (1) | 练习题 | (29) |
| 1.1.2 物理符号系统 | (4) | 第三章 感知器 | (30) |
| 1.1.3 联接主义观点 | (5) | 3.1 感知器与人工神经网络的早期 发展 | (30) |
| 1.1.4 两种模型比较 | (6) | 3.2 感知器的学习算法 | (31) |
| 1.2 人工神经网络的特点 | (7) | 3.2.1 离散单输出感知器训练算法 .. | (31) |
| 1.2.1 人工神经网络的概念 | (7) | 3.2.2 离散多输出感知器训练算法 .. | (32) |
| 1.2.2 学习能力 | (8) | 3.2.3 连续多输出感知器训练算法 .. | (33) |
| 1.2.3 普化能力 | (8) | 3.3 线性不可分问题 | (35) |
| 1.2.4 信息的分布存放 | (10) | 3.3.1 异或(Exclusive - OR)问题 | (35) |
| 1.2.5 适用性问题 | (10) | 3.3.2 线性不可分问题的克服 | (37) |
| 1.3 历史回顾 | (10) | 练习题 | (38) |
| 1.3.1 萌芽期 | (10) | 第四章 BP 网络 | (39) |
| 1.3.2 第一高潮期 | (11) | 4.1 概述 | (39) |
| 1.3.3 反思期 | (11) | 4.2 基本 BP 算法 | (40) |
| 1.3.4 第二高潮期 | (12) | 4.2.1 网络的构成 | (40) |
| 1.3.5 再认识与应用研究期 | (13) | 4.2.2 训练过程概述 | (41) |
| 练习题 | (13) | 4.2.3 误差传播分析 | (42) |
| 第二章 人工神经网络基础 | (15) | 4.2.4 基本的 BP 算法 | (44) |
| 2.1 生物神经网络 | (15) | 4.3 算法的改进 | (45) |
| 2.2 人工神经元 | (16) | 4.4 算法的实现 | (47) |
| 2.2.1 人工神经元的基本构成 | (16) | 4.5 算法的理论基础 | (48) |
| 2.2.2 激活函数(Activation Function) | (17) | 4.6 几个问题的讨论 | (52) |
| 2.2.3 M-P 模型 | (19) | 练习题 | (54) |
| 2.3 人工神经网络的拓扑特性 | (19) | 第五章 对传网 | (55) |
| 2.3.1 联接模式 | (20) | 5.1 网络结构 | (56) |
| 2.3.2 网络的分层结构 | (20) | 5.2 网络的正常运行 | (57) |
| 2.4 存储与映射 | (25) | 5.2.1 Kohonen 层 | (57) |
| 2.5 人工神经网络的训练 | (27) | 5.2.2 Grossberg 层 | (58) |

| | | | |
|------------------------------|-------------|--------------------------------------|--------------|
| 5.3 Kohonen 层的训练 | (59) | 7.3 统计 Hopfield 网与 Boltzmann 机 | (90) |
| 5.3.1 输入向量的预处理 | (59) | 7.4 双联存储器的结构 | (94) |
| 5.3.2 训练 | (60) | 7.5 异相联存储 | (96) |
| 5.4 Kohonen 层联接权的初始化方法 | (62) | 7.6 其他的双联存储器 | (97) |
| 5.5 Grossberg 层的训练 | (65) | 7.7 Hopfield 网用于解决 TSP 问题 | (97) |
| 5.6 补充说明 | (67) | 练习题 | (100) |
| 练习题 | (69) | 第八章 自适应共振理论 | (101) |
| 第六章 非确定方法 | (70) | 8.1 ART 的结构 | (102) |
| 6.1 基本的非确定训练算法 | (70) | 8.2 ART 的初始化 | (107) |
| 6.2 模拟退火算法 | (73) | 8.2.1 T 的初始化 | (107) |
| 6.3 Cauchy 训练 | (78) | 8.2.2 B 的初始化 | (107) |
| 6.4 相关的几个问题 | (79) | 8.2.3 ρ 的初始化 | (108) |
| 练习题 | (82) | 8.3 ART 的实现 | (108) |
| 第七章 循环网络 | (83) | 练习题 | (112) |
| 7.1 循环网络的组织 | (83) | 参考文献 | (114) |
| 7.2 稳定性分析 | (87) | | |

第一章 引言

早在电子计算机出现之前,人类就已经开始探索智能的秘密,并且期盼着有一天可以重新构造人脑,让其去代替人类完成相应的工作。这种目标一直鼓励着人们不断地努力。大体上讲,人类对人工智能的研究可以分成两种方式,这两种方式对应着两种不同的技术:传统的人工智能技术和基于神经网络的技术。实际上,这两种技术是分别从心理的角度和生理的角度对智能进行模拟的。因此,它们分别适应于认识和处理事物(务)的不同方面。目前,人们除了分别从不同的角度对这两种技术进行研究外,也已开始探讨如何能将这两种技术更好地结合起来,并且已取得了良好的效果。人们期待着,通过大家的不懈努力,在不久的将来,能在这两种技术的研究上以及它们的有机结合方面有所突破,也希望在方法上有一个新的突破,真正打开智能的大门。

本章首先简要介绍智能和人工智能,然后简要介绍神经网络的基本特点及其发展过程,使读者对有关的概念有一个基本的了解。

1.1 神经网络的提出

神经网络(Artificial Neural Networks,简记作 ANN),是对人类大脑系统的一阶特性的一种描述。简单地讲,它是一个数学模型,可以用电子线路来实现,也可以用计算机程序来模拟,是人工智能研究的一种方法。因此,需要先介绍人工智能的一些基本内容。

1.1.1 智能与人工智能

一、智能的含义

众所周知,人类是具有智能的。因为人类能记忆事物,能有目的地进行一些活动,能通过学习获得知识,并能在后续的学习中不断地丰富知识,还有一定的能力运用这些知识去探索未知的东西,去发现、去创新。那么,智能的含义究竟是什么?如何刻划它呢?

粗略地讲,智能是个体有目的的行为,合理的思维,以及有效的适应环境的综合能力。也可以说,智能是个体认识客观事物和运用知识解决问题的能力。

按照上述描述,人类个体的智能是一种综合能力。具体来讲,可以包含如下八个方面的能力:

1. 感知与认识客观事物、客观世界和自我的能力

这是人类在自然界中生存的最基本的能力,是认识世界、推动社会发展的基础。人类首先必须感知客观世界,使客观世界中的事物在自己的头脑中有一个反映,并根据事物反映出来的不同特性将事物区分开来。这是一切活动的基础。“假物必以用者”,只有认识了事物,我们才能制造

出支持生存、生活的工具,才有可能不断地提高人类的生存能力,并不断地改善人类的生活质量。

因此可以说,感知是智能的基础。

2. 通过学习取得经验与积累知识的能力

这是人类在自然界中能够不断发展的最基本的能力。通过学习不断地取得经验、不断地积累知识,又进一步地增强了人类认识客观事物、客观世界和自我的能力,从而推动人类社会不断发展。而且,随着社会的发展,知识的积累不仅孤立地发生在作为个体的人的身上,更重要的是这种积累能够代代相传。先辈们获取的经验、知识通过一定的形式传给下一代。正是这样,才使得人类所掌握的知识越来越多,越来越丰富,以至于人们称现在是知识爆炸的时代。这表明,随着社会的进步,人类的知识积累速度不断加快。

3. 理解知识,运用知识和经验分析、解决问题的能力

这一能力可以算作是智能的高级形式,是人类对世界进行适当的改造、推动社会不断发展的基本能力。

有了知识以后,要使其发挥作用,必须运用这些知识和经验去分析和解决实际问题。所以,作为教育的重要目标,我们要努力培养学生认识问题、分析问题和解决问题的能力。培根说,知识就是力量。他指的是,当知识得到恰当的应用后,会发挥巨大的作用。所以,大师们一直在告诫人们,不要只读书,尤其不要死读书,要在灵活地运用书本上的知识去解决实际问题、并在应用中不断地丰富知识上下功夫。

4. 联想、推理、判断、决策的能力

这是智能的高级形式的又一方面。

人类通过这种能力,去促进对未来的甚至是未知的东西的预测和认识,使我们具有了一定的判断未来、把握未来的能力,使我们对未来的东西也能有所准备,从而进一步增强了我们在这个世界上生存并不断发展的能力。我们说,无论是学习、工作还是生活,都有“主动”和“被动”之分。联想、推理、判断、决策的能力是“主动”的基础;同时,它也是我们有时要“主动”地采用“被动”策略去更有效地解决问题的基础——因为我们较好地掌握了事物发展的趋势。

5. 运用语言进行抽象、概括的能力

人类的语言是最为丰富的,它除了可以表达实际世界中的事物外,还可以表达出人类的情感以及一些直观不可见的东西,这些使得我们的生活更加丰富多彩。抽象和概括已成为人类认识现实世界和未来世界的一个重要工具。从更高的形式来看,它是形式化描述的基础,而形式化描述则是计算机化、自动化的基础。

正是有了语言,人类才有了交流,而且这种交流被广泛地扩展到了人与机器之间,使得机器能更好地完成人类所交付的各项任务。丰富的语言抽象和概括能力,使得其他方面的能力可以更充分地发挥出来。

上述这五种能力,被认为是人类智能最基本的能力,从一定的意义上讲,后续的三种能力是这五种能力的新的综合表现形式。

6. 发现、发明、创造、创新的能力

这种能力主要是前面的第三种能力的一种高级表现形式,在这里,我们强调的更多的是创新

能力。因为只有创新,才能有活力,才能不断地发展。人类正是在不断地有所发明、有所创造中前进的。

7. 实时、迅速、合理地应付复杂环境的能力

这是实时反应能力。表示人类对自己遇到的环境及事务可以做出适当的反应。因为世界上几乎所有的事务都将时间作为一个“自变量”而随其变化而变化,人类面对繁乱复杂的环境,必须有能力做出“实时”恰当的反映。从一定的意义上说,这也是人类生存的基本能力。

8. 预测、洞察事物发展、变化的能力

根据历史的经验,根据现实的信息,判断事物的未来发展,以对未来将出现的事务做出必要的准备。

那么,如何使类似计算机这样的设备去模拟人类的这些能力呢?这就是人工智能所研究的问题。

二、人工智能

人工智能(Artificial Intelligence,简记为 AI)最初是在 1956 年被引入的。它研究怎样让计算机模仿人脑从事推理、设计、思考、学习等思维活动,以解决和处理较复杂的问题。简单地来说,人工智能就是研究如何让计算机模仿人脑进行工作。

可以将研究人工智能的目的归纳为两个方面:

1. 增加人类探索世界、推动社会前进的能力

人类从一开始就注意到通过制造和使用工具来加强和延伸自己的生存能力。在初始阶段,这种工具多是用于扩展人类的体力,例如杠杆、拖拉机、各类机械等,它们主要致力于放大、聚集、集中、产生“力量”。后来,从考虑如何让“工具”帮助人类完成计算开始,人们致力于研究如何能使“工具”代替人类进行思维,哪怕是“部分地”代替!当计算机出现之后,更进一步地促使人类探索如何使计算机模拟人的感知、思维和行为的规律,进而设计出具有类似人类的某些智能的计算机系统,从而达到延伸和扩展人类智能和能力的目的。

2. 进一步认识自己

到目前为止,虽然以生物神经科学家、医学解剖学家为首的各专业的科学家进行了数代的大量艰苦的研究,人类对自身的大脑还是知之甚少,在很大程度上,它的运行机理还是一个未揭开的谜。研究人工智能,可以从已知的一些结论(不排除一些猜想)入手,从人的大脑以外来探讨它的活动机理。有人将这种做法叫做用物化了的智能去考察和研究人脑智能的物质过程和规律。这也许是人类揭开自身大脑之谜的一个有效途径。人们相信,这种探索至少可以为我们认识大脑提供帮助。

由于人类对自己的大脑确实知之甚少,所以,自从“人工智能”一词诞生以来,人们从不同的出发点、方法学以及不同的应用领域出发,进行了大量的研究。正是由于存在这些不同,导致了对手工智能的几种不同的认识,也就形成了不同的学术流派。较有代表性的包括:符号主义(或叫做符号/逻辑主义)学派,联接主义(或者叫做并行分布处理)学派,进化主义(或者叫做行动/响应)学派。

1.1.2 物理符号系统

人们常讲,计算机世界就是数据处理世界,而数据是从现实世界中抽象出来的信息世界的形式化描述的结果。当然,这种形式化系统的不同,会导致数据世界的不同。所以,信息是现实在人脑中的反映,而数据则是信息的一种表现形式,如图 1-1 所示。信息不会随其载体的变化而变化,而数据则是随其载体的变化而变化的。例如,“2”在十进制中用阿拉伯数字表示成“2”,而在二进制中又被表示成“10”,在计算机内部,它又被用高、低电平表示出来。因此,信息需要在一定的载体上以某种规定的形式表达出来。习惯上,人们用一系列的基本符号以及组合这些符号的一些规则去表达一些信息和行为。这些基本符号以及组合这些符号的规则就是所谓的物理符号系统。

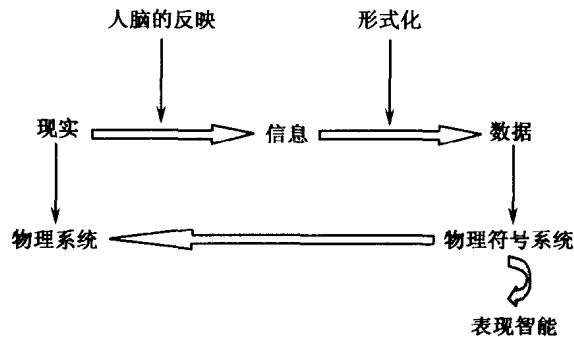


图 1-1 物理符号系统用于对物理系统的描述

物理符号系统是 Newell 和 Simon 在 1967 年提出的假说,该假说认为:

一个物理系统表现智能行为的充要条件是它有一个物理符号系统。

这就是说,物理符号系统需要有一组称为符号的实体组成,它们都是物理模型,可以在另一类称为符号结构的实体中作为成分出现,以构成更高级别的系统。

在这里,人们希望通过抽象,用一系列物理符号及其相应的组成规则,来表达一个物理系统的存在和运行。例如简单的整数及其运算系统、实数及其运算系统、数理逻辑符号系统。传统的人工智能技术就是以物理符号系统为基础的。在这里,问题必须经过形式化处理后才能被表达、处理。

要想实现对事务(物)的形式化描述,第一步必须对其进行适当的抽象。然而我们知道,在抽象中,需要舍弃一些特性,同时保留一些特性。但是,世界的千差万别要求物理符号系统能较较好地表达我们要求的全部,在一定意义上讲,这与抽象又存在一定的矛盾。因为,为了形式化所进行的抽象有时需要舍弃大量的信息,而这将导致经过形式化处理后的系统难以表达出物理系统的完整面貌。更严重的是,有时还会使其失去物理系统的本来面貌。在现实世界中,这种问题有许多。实际上,在某些情况下如果我们勉强对它们进行形式化处理,一方面会导致面目全非,另一方面可能会因为过于复杂等问题,使得系统难以具有良好的结构。我们称此类问题是难以

形式化的。这是物理符号系统所面临的困难。

由此也可以看出,物理符号系统对全局性判断、模糊信息处理、多粒度的视觉信息处理等是非常困难的,这就导致了人们去探求对此类问题的新的处理方法。

1.1.3 联接主义观点

为了研究智能,在现代神经科学的研究成果的基础上,人们提出了另一种观点,认为:

智能的本质是联接机制。神经网络是一个由大量简单的处理单元组成的高度复杂的大规模非线性自适应系统。

虽然按此说法来刻划神经网络,未能将其所有的特性完全描述出来,但它却从以下四个方面出发,力图最大限度地体现人脑的一些基本特征,同时使得所得人工神经网络具有良好的可实现性。人工神经网络就是力求从这四个方面去模拟人脑的智能行为。

1. 物理结构

现代神经科学的研究结果认为,大脑皮层是一个广泛联接的巨型复杂系统,它包含有大约一千亿个神经元,这些神经元通过一千万亿个联接构成一个大规模的神经网络系统。人工神经网络也将是由与生物神经元类似的人工神经元通过广泛的联接构成的。人工神经元将模拟生物神经元的功能。它们不仅具有一定的局部处理能力,同时还可以接受来自系统中其他神经元的信号,并可以将自己的“状态”按照一定的形式和方式传送给其他的神经元。

2. 计算模拟

人脑中的神经元,既有局部的计算和存储功能,又通过联接构成一个统一的系统。人脑的计算就是建立在这个系统的大规模并行模拟处理的基础上的。各个神经元可以接受系统中其他神经元通过联接传送过来的信号,通过局部的处理,产生一个结果,再通过联接将此结果发送出去。神经元接受和传送的信号被认为是模拟信号。所有这些,对大脑中的各个神经元来说,都是同时进行的。因此,该系统是一个大规模并行模拟处理系统。由于人工神经网络中存在大量的有局部处理能力的人工神经元,所以,该系统也将实现信息的大规模并行处理,以提高其性能。

3. 存储与操作

研究认为,大脑对信息的记忆是通过改变突触(Synapse)的联接强度来实现的。神经元之间的联接强度确定了它们之间传递的信号强弱,而联接强度则由相应的突触决定。也就是说,除神经元的状态所表现出的信息外,其他信息被以神经元之间联接强度的形式分布存放。存储区与操作区合二为一。这里的处理是按大规模、连续、模拟方式进行的。由于其信息是由神经元的状态和神经元之间实现联接的突触的强弱所表达的,所以说信息的分布存放是它的另一个特点。这是人工神经网络模拟实现生物神经系统的第三大特点。

信息的大规模分布存放给信息的充分并行处理提供了良好的基础。同时,这些特性又使系统具有了较强的容错能力和联想能力,也给概括、类比、推广提供了强有力的支持。

4. 训练

生活实践的经验告诉我们,人的大脑的功能除了受到先天因素的限制外,还被后天的训练所确定。先天因素和后天因素中,后天的训练更为重要。一个人的学习经历、工作经历都是他的宝

贵财富。这些表明,人脑具有很强的自组织和自适应性。同我们看到的表象不同,从生理的角度来讲,人的许多智力活动并不是按逻辑方式进行的,而是通过训练形成的。所以,人工神经网络将根据自己的结构特性,使用不同的训练、学习过程,自动从“实践”中获取相关的知识,并将其存放在系统内。这里的“实践”就是训练样本。

实际上,虽然人类对神经网络的研究起源很早,然而真正广泛地将其用作人工智能的一项新的技术来研究只是近几十年的事。这种努力在 20 世纪 60 年代受到挫折后,停顿了近 20 年。后来,人们发现传统的人工智能技术要在近期取得大的突破还较为困难,同时加上人们在生物神经网络和人工神经网络方面研究的进展,重新唤起了人们对用人工神经网络来实现人工智能的兴趣。希望通过共同的努力,尽快构造出一个较为理想的人工智能系统。

为此,许多方面的科学家分别从各自的学科入手,交叉联合,进行研究。所以说,人工神经网络理论是许多学科共同努力的结果。这些学科主要包括神经科学、生物学、计算机科学与技术、生理学、数学、工程、心理学、哲学、语言学等。

1.1.4 两种模型的比较

物理符号系统和人工神经网络系统从不同的方面对人脑进行模拟。其差别见表 1-1。

表 1-1 物理符号系统和人工神经网络系统的差别

| 项目 | 物理符号系统 | 人工神经网络 |
|------|--------|--------|
| 处理方式 | 逻辑运算 | 模拟运算 |
| 执行方式 | 串行 | 并行 |
| 动作 | 离散 | 连续 |
| 存储 | 局部集中 | 全局分布 |

可以说,物理符号系统是从人的心理学的特性出发,去模拟人类问题求解的心理过程。所以它擅长于模拟人的逻辑思维,可以将它看作是思维的高级形式。而在许多系统中,一些形象思维的处理需要用逻辑思维来实现,这就导致了该系统对图像处理类问题的处理效率不高。

作为联接主义观点的人工神经网络,它是从仿生学的观点出发,从生理模拟的角度去研究人的思维与智能,擅长于对人的形象思维的模拟,这是人类思维的低级形式。从目前的研究结果看,因为这种系统的非精确性的特点,使得它对以逻辑思维为主进行求解的问题的处理较为困难。图 1-2 给出了两种系统与人类思维形式的对应比较。

这两种观点导致了两种不同的人工智能技术:基于物理符号系统的传统的人工智能技术和基于联接主义观点的人工神经网络技术。这两种技术的比较见表 1-2。从表中可以看出,这两种技术导致处理问题方法的不同,使得相应系统的开发方法和适应的对象有着很大的差别。按照这一分析,传统的人工智能方法和人工神经网络的方法并不是完全可以互相取代的,它们应该有着不同的应用面。

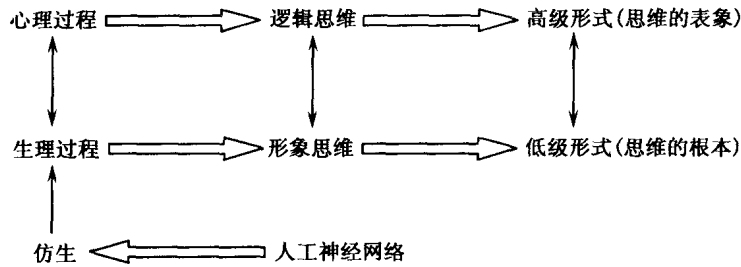


图 1-2 两种模型的模拟对照

表 1-2 两种人工智能技术的比较

| 项目 | 基于物理符号系统的传统的人工智能技术 | 基于联接主义观点的人工神经网络技术 |
|--------|--|--|
| 基本实现方式 | 串行处理;由程序实现控制 | 并行处理;对样本数据进行多目标学习;通过人工神经元之间的相互作用实现控制 |
| 基本开发方法 | 设计规则、框架、程序;用样本数据进行调试(由人根据已知的环境去构造一个模型) | 定义神经网络的结构原型,通过样本数据,依据基本的学习算法完成学习——自动从样本数据中抽取内涵(自动适应应用环境) |
| 适应领域 | 精确计算:符号处理,数值计算 | 非精确计算:模拟处理,感觉,大规模数据并行处理 |
| 模拟对象 | 左脑(逻辑思维) | 右脑(形象思维) |

1.2 神经网络的特点

信息的分布表示、运算的全局并行和局部操作、处理的非线性是人工神经网络的三大特点。其构造和处理均是围绕此三点进行的。

1.2.1 神经网络的概念

1. 定义

神经网络是人脑及其活动的一个理论化的数学模型,它由大量的处理单元通过适当的方式互连构成,是一个大规模的非线性自适应系统。1988年,Hecht-Nielsen 曾经给神经网络下了如下的定义:

神经网络是一个并行、分布处理结构,它由处理单元及称为联接的无向信号通道互连而成。这些处理单元(PE——Processing Element)具有局部内存,并可以完成局部操作。每个处理单元有一个单一的输出联接,这个输出可以根据需要被分支成希望个数的许多并行联接,且这些并行联接都输出相同的信号,即相应处理单元的信号,信号的大小不因分支的多少而变化。处理单元的输出信号可以是任何需要的数学模型,每个处理单元中进行的操作必须是完全局部的。

也就是说,它必须仅仅依赖于经过输入联接到达处理单元的所有输入信号的当前值和存储在处理单元局部内存中的值。

该定义主要强调了四个方面的内容:并行、分布处理结构;一个处理单元的输出可以被任意分支,且大小不变;输出信号可以是任意的数学模型;处理单元完全的局部操作。这里说的处理单元就是人工神经元(AN——Artificial Neuron)。

按照 Rumelhart、McClelland、Hinton 等人提出的 PDP(Parallel Distributed Processing)理论框架(简称为 PDP 模型),人工神经网络由八个方面的要素组成:

- (1) 一组处理单元(PE 或 AN);
- (2) 处理单元的激活状态(a_i);
- (3) 每个处理单元的输出函数(f_i);
- (4) 处理单元之间的联接模式;
- (5) 传递规则($\sum w_{ij}O_j$);
- (6) 把处理单元的输入及当前状态结合起来产生激活值的激活规则(F_i);
- (7) 通过经验修改联接强度的学习规则;
- (8) 系统运行的环境(样本集合)。

可以将 PDP 模型表示成图 1-3 的形式。

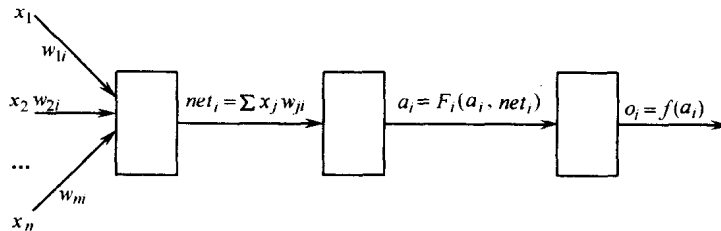


图 1-3 PDP 模型下的人工神经网络模型

以上这两种定义都比较详细、复杂。为了使用方便,1987年,Simpson 从人工神经网络的拓扑结构出发,给出了一个虽然不太严格但却是简明扼要的定义。它对一般的应用来说,是足以说明问题的:

人工神经网络是一个非线性的有向图,图中含有可以通过改变权大小来存放模式的加权边,并且可以从不完整的或未知的输入找到模式。

人工神经网络除了可以叫做并行分布处理系统(PDP)外,还可以叫做人工神经系统(ANS)、神经网络(NN)、自适应系统(Adaptive Systems)、自适应网(Adaptive Networks)、联接模型(Connectionism)、神经计算机(Neurocomputer)等。

人工神经网络不仅在形式上模拟了生物神经系统,它也确实具有大脑的一些基本特征:

- (1) 神经元及其联接

从系统构成的形式上看,由于人工神经网络是受生物神经系统的启发构成的,从神经元本身

到联接模式,基本上都是以与生物神经系统相似的方式工作的。这里的人工神经元(AN)与生物神经元(BN)相对应,可以改变强度的联接则与突触相对应。

(2) 信息的存储与处理

从表现特征上来看,人工神经网络也力求模拟生物神经系统的基本运行方式。例如,可以通过相应的学习/训练算法,将蕴含在一个较大数据集中的数据联系抽象出来。就像人们可以不断地摸索规律、总结经验一样,可以从先前得到的例子按要求产生出新的实例,在一定程度上实现“举一反三”的功能。

1.2.2 学习能力

人工神经网络可以根据所在的环境去改变它的行为。也就是说,人工神经网络可以接受用户提交的样本集合,依照系统给定的算法,不断地修正用来确定系统行为的神经元之间联接的强度,而且在网络的基本构成确定之后,这种改变是根据其接受的样本集合自然地进行的。一般来说,用户不需要再根据所遇到的样本集合去对网络的学习算法做相应的调整。也就是说,人工神经网络具有良好的学习功能。由于在传统的人工智能系统的研究中,虽然人们对“机器学习”问题给予了足够的重视并倾注了极大的努力,但是,系统的自学习能力差依然是阻碍其获得广泛应用的障碍。而人工神经网络具有良好的学习功能的这一性能,使得人们对它产生了极大的兴趣。人工神经网络的这一特性称为“自然具有的学习功能”,以与传统的人工智能系统总要花较大的力气去研究系统的学习问题形成对照。

在学习过程中,人工神经网络不断地从所接受的样本集合中提取该集合所蕴含的基本东西,并将其以神经元之间的联接权重的形式存放于系统中。例如,可以构造一个异相联的网络,它在接受样本集合 A 时,可以抽取集合 A 中输入数据与输出数据之间的映射关系。如果样本集合变成了 B ,它同样可以抽取集合 B 中输入数据与输出数据之间的映射关系。再例如,对于某一模式,可以用它的含有不同噪声的数据去训练一个网络,在这些数据选择得比较恰当的前提下,可以使得网络今后在遇到类似的含有一定缺陷的数据时,仍然能够得到它对应的完整的模式。也可以说,这表明,人工神经网络可以学会按要求产生它从未遇到过的模式。有时候,又将人工神经网络的这一功能叫做“抽象”功能。

目前,对应不同的人工神经网络模型,有不同的学习/训练算法,有时,同种结构的网络拥有不同的算法,以适应不同的应用要求。对一个网络模型来说,其学习/训练算法是非常重要的。例如,作为一般的多级网络学习/训练算法的BP算法,虽然已被发现并应用多年,今天仍然有许多人在研究如何提高它的训练速度和性能。

1.2.3 普化能力

由于其运算的不精确性,人工神经网络在被训练后,对输入的微小变化是不反应的。与事物的两面性相对应,虽然在要求高精度计算时,这种不精确性是一个缺陷,但是,有些场合又可以利用这一点获取系统的良好性能。例如,可以使这种不精确性表现成“去噪音、容残缺”的能力,而这对模式识别有时恰好是非常重要的。还可以利用这种不精确性,比较自然地实现模式的自动

分类。

尤其值得注意的是,人工神经网络的这种特性不是通过隐含在专门设计的计算机程序中的人类的智能来实现的,而是其自身的结构所固有的特性所给定的。

1.2.4 信息的分布存放

信息的分布存放给人工神经网络提供了另一种特殊的功能。由于一个信息被分布存放在几乎整个网络中,所以,当其中的某一个点或者某几个点被破坏时,信息仍然可以被存取。这能够保证系统在受到一定的损伤时还可以正常工作。但是,这并不是说,可以任意地对完成学习的网络进行修改。也正是由于信息的分布存放,对一类网来说,当它完成学习后,如果再让它学习新的东西,这时就会破坏原来已学会的东西,BP网就是这类网。有关具体分析见相关章节。

1.2.5 适用性问题

从 1.1.4 节可以看出,人工神经网络并不是可以解决所有问题的,它应该有自己的适用面。人脑既能进行“形象思维”又能进行“逻辑思维”,传统的人工智能技术模拟的是逻辑思维,人工神经网络模拟的是形象思维,而这两者适用的方面是不同的,所以,人工神经网络擅长于适用形象思维的问题的处理。主要包括两个方面:

- (1) 对大量的数据进行分类,并且只有较少的几种情况;
- (2) 必须学习一个复杂的非线性映射。

这两个方面对传统的人工智能技术来说都是比较困难的。目前,人们主要将其用于语音、视觉、知识处理、辅助决策等方面。此外,在数据压缩、模式匹配、系统建模、模糊控制、求组合优化问题的最佳解的近似解(不是最佳近似解)等方面也有较好的应用。

1.3 历史回顾

人工神经网络的发展是曲折的,从萌芽期到目前,几经兴衰。可以将其发展历史大体上分成如下五个时期。

1.3.1 萌芽期

人工神经网络的研究最早可以追溯到人类开始研究自己的智能的时期,这一时期截止到 1949 年。

开始时,人类对自身的思维感到非常奇妙,从而也就有了许许多多关于思维的推测,这些推测既有解剖学方面的,也有精神方面的。一直到了神经解剖学家和神经生理学家提出人脑的“通信联接”机制,我们才对人脑有了一点了解。到了 20 世纪 40 年代初期,对神经元的功能及其功能模式的研究结果才足以使研究人员通过建立起一个数学模型来检验他们提出的各种猜想。在这个期间,产生了两个重大成果,它们构成了人工神经网络萌芽期的标志。

1943 年,心理学家 McCulloch 和数学家 Pitts 建立起了著名的阈值加权和模型,简称为 M-P