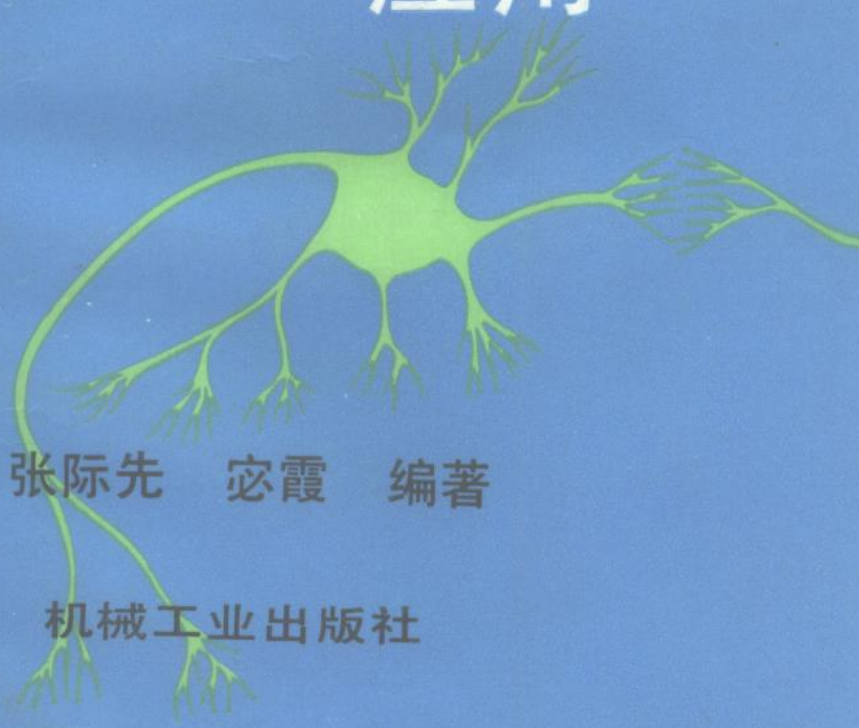


神经网络 及其在工程中的 应用



张际先 宓霞 编著

机械工业出版社

神经网络及其在工程中的应用

张际先 宓霞 编著



机械工业出版社

JS48/03

本书是工程学科领域内科技人员及大专院校师生学习神经网络技术的入门书，内容包括神经网络的特点、发展历史、学习方法、常用的几种神经网络模型，以及如何用神经网络来解决工程问题的方法。

书中着重介绍了神经网络的应用技术，包括数据准备、模型建立、网络训练技术及性能评价方法等，并较详细地列举了一些近年来在工程学科领域内应用神经网络解决实际问题的例子，还介绍了两种神经网络教学程序的使用方法。

本书供工程技术人员使用，也可作为大专院校工科类专业的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

神经网络及其在工程中的应用/张际先，宓霞编著. -
北京：机械工业出版社，1996
ISBN 7-111-04927-6

I. 神… I. ①张…②宓… I. 神经网络-应用-工程技术 W. TB1:Q

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第16759号

出 版 人：马九荣（北京市百万庄南街1号 邮政编码100037）
责任编辑：余茂祚 版式设计：张世琴 责任校对：姚培新
封面设计：郭景云 责任印制：王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1996年3月第1版第1次印刷
787mm×1092mm^{1/32}·5.875印张·127千字
0 001—2 000册
定价：12.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

前 言

神经网络是在研究生物神经系统的启示下发展起来的一种信息处理方法。它不需要设计任何数学模型，只靠过去的经验来学习，可以处理模糊的，非线性的，含有噪声的数据。可用于预测、分类、模式识别、非线性回归、过程控制等各种数据处理的场合。而且在大多数情况下，应用效果优于传统的统计分析方法。近年来，人工神经网络技术在工程领域得到了越来越广泛的应用。

本书的目的是介绍神经网络的基本原理及结构，使读者能对神经网络有一个概括的认识。然后，通过设计和应用神经网络解决工程问题的方法和实例，使读者能够了解神经网络是什么，做什么以及如何去做。

书中共有六章，第一章是神经网络的简介。它概括介绍了什么是人工神经网络，如何发展起来的，能解决哪些些实际问题。

第二章着重介绍神经网络的学习方法和基本的学习机理，使读者能够了解神经网络的一般工作原理。

第三章从工程实用的角度上，介绍了如何建立神经网络，如何设计网络结构，如何准备训练网络的数据，以及如何训练网络和评价网络的性能。这些都是神经网络应用中的关键问题。

第四章简要介绍了几种常用的神经网络和算法。为了使读者能进一步了解这些网络的工作原理，书中附有一些练

习, 可以用简单的计算器进行运算和分析, 也可以用本书所介绍的几种神经网络程序及提供的数据, 通过练习掌握神经网络的应用技术。

第五章介绍了一些在不同工程领域应用神经网络的实例, 其中包括分类、预测、过程控制等等。通过实例, 读者可以进一步了解神经网络的应用方法。

第六章介绍了两套神经网络程序的使用方法, 其中BPS为后传播神经网络程序, NN程序包括后传播网络、Kohonen自组织网络及模糊神经网络。源程序可直接向镇江市江苏理工大学张际先函购。这些程序主要用于本书的教学, 也可用来解决较简单的数据处理问题。对于工程技术人员来说, 人工神经网络是一种实用的数据分析技术, 不经过应用于解决实际问题, 是无法掌握这一数据分析工具的。

书后附录了常用神经网络术语的英文解释。神经网络是一门新技术, 许多名词术语还没有统一的中文名词解释。在此列举英文名词解释, 可以使读者在阅读人工神经网络的技术资料时, 对名词术语有比较正确的理解。

本书在写作过程中, 得到了美国明尼苏达大学农业工程系Roger.R.R博士和研究小组的指导与帮助, 也得到了镇江电器设备厂和镇江默勒电器有限公司的大力支持, 在此表示感谢。

目 录

前言

第一章	神经网络简介	1
第一节	什么是神经网络	1
第二节	神经网络是如何工作的	4
第三节	神经网络发展简史	15
第四节	神经网络的应用	17
第二章	神经网络的学习方法	20
第一节	基本的学习机理	20
第二节	学习方式	22
第三节	学习规则	24
第三章	如何组织神经网络	27
第一节	神经动力学	27
第二节	网络的结构与设计	30
第三节	输入数据的设计与准备	37
第四节	神经网络的训练、检验及性能评价	48
第五节	自相关网络	54
第六节	时间序列的预测	59
第四章	常用神经网络技术	68
第一节	Perceptron网络	68
第二节	Adaline网络	74
第三节	自组织系统 (Kohonen网络)	84
第四节	后传播网络	92
第五节	一般回归神经网络 (GRNN)	108
第六节	模糊神经网络	114

第五章 神经网络应用实例	121
第一节 神经网络在过程控制中的应用	121
第二节 用神经网络进行图象的鉴别与分类	128
第三节 用神经网络标定土壤传感器	134
第四节 用神经网络预测面团流变特性	135
第六章 神经网络教学软件简介	142
第一节 BPS程序	142
第二节 NN程序	151
附录 常用英文名词解释	163
参考文献	179

第一章 神经网络简介

第一节 什么是神经网络

神经网络是一种信息处理系统，它由许多非常简单的，彼此之间高度连接的处理单元组成，这些单元是模仿大脑中的神经细胞（神经元）设计成的。神经网络中，处理单元由大量加权重的连接联系在一起。这些连接可以传递信号。每个单元都从它的输入连接接受许多信号，这些输入信号也许来自别的单元，也许来自外界。每个单元只有一个信号输出。输出信号通过单元间的连接传递到其他单元，相当于生物神经元中的轴突（Axon）。输出的每个连接都传递相同的输出信号。单元的输出连接也许成为另外一些单元的输入，也许将信号直接输出到外界。

图1-1是典型的神经网络的连接形式。在神经网络中，各处理单元的这种连接是靠研究大脑的结构得到启示而设计的。也就是说，大多

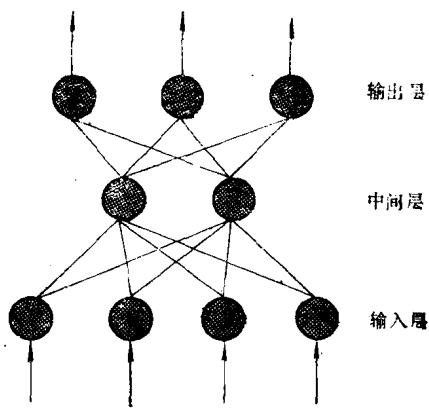


图1-1 典型的神经网络模型

数成功的网络结构都是模仿大脑的组织结构。

实际上,神经网络中的单元结构只是生物神经元的一种原始模型,因此不能说现在的神经网络就是完全按生物神经网络的方式工作的。在神经网络中,处理单元是个极简单的器件。它从输入端直接接受输入的激励,并且转换这种输入激励为输出响应,然后将此输出响应借输出连接向后传递。输入与单元的连接处也和生物神经元一样,称为突触(Synapse)。描述将输入激励转换为输出响应的数学表达式称为处理单元的传递函数。它由三步过程组成。首先处理单元计算它从所有的输入连接处接受的全部权重过的输入,或称为激励水平。一般表达式为

$$I_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} X_j \quad (1-1)$$

式中 I_i ——处理单元 i 从前面 n 个处理单元的 输出连接 所得到的总权重输入;

X_j ——是从第 j 个单元得到的输入信号;

W_{ij} ——是从 j 单元到 i 单元间连接的权重。

一旦计算出 I_i , 有关输入信号强弱 的信息都要遗失。通过弱的权重连接接受的强信号的影响也许会小于通过强的权重连接传来的弱信号。这时处理单元只考虑接受的总信号。权重也可能为 0 或负值, 这种连接叫阻止连接, 它趋于减小接受信号单元的总的激励。

因为每个输入信号对一个单元只有一个权重, 就可考虑将所有的权重集合与所有的输入信号集合看成为 n 维矢量 W 和 X , 其分量由单个权重或单个输入信号组成。权重矢量和输入矢量的维数在任何时候都是完全相等的。

信号传递的第二步是由传递函数将输入 权重和 I_i 转换为

单元的输出信号。在大多数网络中，传递函数采用S-函数(Sigmoid function)，其函数曲线为S型。最常用的形式是

$$f(I) = \frac{1}{1 + e^{-I}} \quad (1-2)$$

这种函数很有用的特点是导数易于计算

$$\frac{df(I)}{dI} = f(I)[1 - f(I)] \quad (1-3)$$

S函数是单调增函数，且具有下限和上限。如采用上面的形式，函数下限为0.0，上限为1.0。

信号传递的第三步是将单元的激励水平转换为单元的信号输出。常用的形式是设输出信号为 y_i ，则

$$y_i = \begin{cases} f(I), & \text{如果 } f(I) > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1-4)$$

式中 T ——阈值。

上式可以表述为只要单元的激励水平超过阈值，其输出值等于激励水平。若激励水平不大于阈值，则单元输出为零。

神经网络由排列成层的处理单元组成，接受输入信号的单元层称输入层，输出信号的单元层称输出层，不直接与输入输出发生联系的单元层称中间层或隐含层，如图1-1所示。

如果输入网络一组数据(或输入模式，输入矢量)，在网络输入层的每个单元都接受到输入模式的一小部分。然后输入层将输入通过连接传递给中间层。中间层接受到整个输入模式，但因输入信号要通过单元间加有权重的连接的传递，到中间层的输入模式已被改变。由于权重的影响，中间层单元有的更加活动。中间层单元的输出就与输入层大不相同。有的单元没有输出，有的则输出很强。

一般情况下，中间层单元将输入信号传递给输出层的全部单元。输出单元从中间层单元接受输出活动的全部模式，但中间层往输出层的信号传递仍要经过有权重的连接，所以输出层单元接受到的输入模式已与中间层的输出不同。

输出层单元有的激发、有的抑止，产生相应的输出信号。输出层单元输出的模式就是网络对输入模式激励的总的响应。

神经网络通过学习来解决问题，而不是通过编程。学习和训练几乎对所有的神经网络来说都是最基本的。网络不是通过修改处理单元本身来完成训练过程，而是靠改变网络中各连接的权重来学习的。对每一个处理单元而言，若假设其传递函数不变（在一般情况下，训练过程中处理单元的传递函数是不变的），其输出由两个因素来决定，即输入数据和与此处理单元连接的各输入量的权重。因此若处理单元要学会正确地反映所给数据的模式，唯一用以改善处理单元性能的元素就是连接的权重。

训练和学习并不完全相同、训练是指网络的学习过程，而学习是此过程的结果。训练是外部过程，而学习是网络的内部过程。

第二节 神经网络是如何工作的

神经网络是一种数据处理方法，是在生物神经网络功能的启示下发展起来的。

生物神经元是具有处理功能的神经细胞，也是区别动物和植物的主要特征。植物是不具有神经细胞的。

最简单的神经元模型如图1-2所示。

这是一种两极的神经元，也就是说可有两种处理过程。

细胞体叫核，有一个或多个神经细胞树突（Dendrites）与其相连。这种呈锥状、分枝的神经细胞处理器，将外界的刺激传送给细胞核。轴突是另一个神经细胞处理器，它将神经细胞的反应传送给外界。虽然真实的神经细胞有许多种，但从这一最简单的模型已能了解神经细胞是如何工作的。

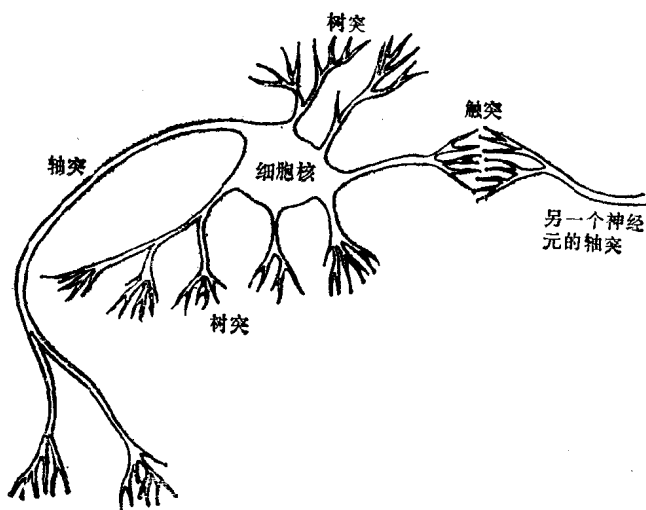


图1-2 最简单的神经元模型

一、神经的结构及触突

一束神经元形成了神经的结构。神经从感受器官（如眼、耳等）将外界刺激传送给效应器官（如肌肉、腺体等）。在一个神经通道的连接点将一个神经元的轴突连接到相邻神经元的树突，称为触突。这样两个连接的神经元之间的关系仅是一个接触点，从第一个神经元来的刺激通过触突传给第二个神经元。

这种刺激只是单方向传递，其传递速度达 $10\sim 20\text{m/s}$ 。如果一个神经元所受到的刺激达到或超过神经细胞感受的阈值，细胞产生化学和电的变化，将刺激从轴突通过触突传送给下面一个相连的神经细胞。当这个刺激送出之后，神经元又回到原来的状态，准备接受新的刺激。

二、触突的活动

如果有一个信号传到触突，它首先对信号的特点进行衡量，有些信号使神经元激发，有些则被阻止。所有触突受到的刺激的权重之和，则传送给细胞核。

如果刺激信号的权重和等于或大于这个神经细胞的阈值，神经细胞便被激发，并给出输出。受到信号的神经细胞的输出只有两种情况，激发或未被激发。

信号的传送根据神经系统的活动性而变化，触突容易受到疲劳、缺氧、麻醉剂等因素的影响，这些因素阻碍刺激信号的传送，某些因素可以促进神经细胞的激发。

对刺激信号进行调节的能力就是学习。

三、计算机和大脑

传统的计算机实际上是由明确的编程指令操作下的信号处理器。计算机程序将一个任务分成细小的单元，然后按顺序迅速地完成任务。这些任务通常是逻辑关系或精确的数字关系。

大脑是由亿万个神经元组成的。每个神经细胞可直接与 $1000\sim 200000$ 个其他的神经细胞相互作用。大脑强大的功能来自大量的多层次的神经细胞的相互连接。

神经元被激发，或未被激发，由激发的速率而不是激发的幅值传送着大量的信息。大脑接受各种输入，然后产生出不同的反应。这些反应实际上是遗传功能与学习过程，即对

输入的反应中自行组织的功能的结合。

下面将大脑处理信息的过程与常规数字计算机进行比较，就能了解为什么思想有如此强的适应能力和恢复能力，而计算机是如此刻板与精确，也就能懂得用人工神经网络来模仿大脑信息处理的原因。

1. 处理速度

将一个信号从输入到输出所用的时间叫循环时间。若计算机在一个时钟周期内处理一个程序步，则最先进的数字计算机的循环时间约为十亿分之一秒。在大脑中神经元的循环时间，相应于神经元对外部刺激的响应约为千分之一秒。也就是说，计算机处理信息的速度比大脑快百万倍。

2. 处理顺序

如果说最先进的计算机处理信息比大脑快一百万倍，为什么大脑能如此高超地处理信息呢？主要的不同在于处理顺序。大脑是用并行方法来处理信息，而计算机采用串行的方法。研究表明，如果大脑能在半秒钟内对外部刺激给出反应（即回答正确、错误的问题或给一张图片命名），设神经元的循环时间平均为5ms，也就是说，神经元只用100个循环时间就能解决问题。如果用计算机模拟每个时钟周期处理一个程序步，大脑运行的并行程序就只有100步长。与普通计算机一步一步用串行运行一个大的程序来比，大脑运行大量并行的程序只有几步就行了。因此大脑运算速度虽比计算机慢六个数量级，但大脑处理信息却非常快。

3. 处理单元的数量及复杂性

大脑每个时刻都有大量的神经元在并行工作，神经元的数量估计有 10^{11} 到 10^{14} 个之多，每个神经元约与 10^3 到 10^4 个神经元相连。如果想象人工神经网络像大脑，能具有思考问题

的能力，就要有大量的处理单元。此外，大脑不但有大量的神经元，而且神经元是一个复杂的单位，不仅是一个简单的阈值单元。分析表明，大脑的处理能力不仅发生在神经细胞内部，神经细胞外部如树突和触突处也有处理过程存在。

4. 信息的储存

大脑与计算机另一个区别是信息的储存。在计算机里，信息储存在一定地址的内存单元里，新的信息会冲掉旧的信息。大脑中神经元之间大量的连接是相对固定的。在成人脑子里已很少形成新的通路。科学家认为大脑将信息储存在神经元之间的连接内。新的信息是靠大脑调节连接的强度而记忆在大脑中的。这种适应性可以解释大脑的综合能力。概括来说，知识在大脑中是可适应的，但知识在计算机中是严格替换的。

5. 容错性

大脑有容错的特点。大脑中的单个神经元可能损坏而不至于影响总的性能，大脑不是将一定的信息储存在一个神经元里，而是分散给许多神经元以及它们的相互连接中。如果一部分大脑去除了，知识依然保存在余下的部分里，不会完全丢失。但大多数传统的计算机不具有容错性，它们是不能容错的。将计算机任一部分去掉，就不是一个有用的机器了。计算机内存坏了是不可挽救的，造成整个计算机失效。

6. 过程控制

大脑不存在任何特殊的区域对整个大脑进行绝对控制，它是一个“无序”的系统。大脑中没有一个统治者去监督整个大脑内每个神经元的活动。每个神经元的输出都是由其触突活动的总和经过本身阈值的处理后得到的。因此每个神经元的输出只是局部有效信息活动的函数。局部是指神经元以及

与周围相连的神经元。相比之下，计算机的控制是专横的。计算机的中央处理器CPU监控所有的活动。在这种情况下，就容易产生处理过程的瓶颈或失效。

如果设计一台计算机以类似大脑的方式来运行将会如何呢？这是一个大课题。能不能设计出这样的机器，如何来设计，如何尽可能地模拟生物神经网络的功能，这是目前许多人在热衷思考的问题。

四、神经网络

现在并不真正了解大脑是如何工作的，以及“智能”到底是怎么一回事，神经网络只不过是生物功能启示下建立起来的一种数据处理技术。神经计算方法只是一部机器，而不是大脑。人们正在努力设计一种机器能成功地模仿一些生物的功能，而不是去建立人造大脑。

虽然神经网络不是人造大脑，但神经网络这个名词已足够说明神经网络的功能。目前神经网络的作用、反应、学习、遗忘、自行组织等已被普遍接受，这些行为实际上反应了真实大脑的一些功能，而不是像普通计算机一样只是执行程序。

如同大脑一样，神经网络的基本单元也称为神经元或人工神经元或称为处理单元。可认为处理单元是一种类似的最基本的生物神经元，它能完成生物神经元最基本的三种处理过程。

(1) 评价输入信号，决定每个输入信号的强度。

(2) 计算所有输入信号的权重之和，并与处理单元的阈值进行比较。

(3) 决定处理单元的输出。处理单元可以有許多输入，所有这些输入都是同时传送给处理单元的。处理单元是否被

激发，取决于输入信号的权重和以及阈值。如同生物神经元一样，处理单元也只有一个输出。对每一个输入，都必须给一个权重，类似于生物神经元的触突，能分辨输入中哪一个比另一个更为重要。当网络决定输入信号的强度时，权重是一个可调节的系数。输入单元最初设置的权重可以根据网络对不同输入的响应以及网络本身的规则来进行修改。

若将输入量及其权重和看成矢量，总的输入信号是每个输入量与其权重之积的和，即这两个矢量的内积。权重和与处理单元的阈值一起来决定输出。如果输入值的权重和大于阈值，处理单元被激发产生输出信号。如果权重和小于阈值，就没有输出产生。这两种响应都是有意义的。

阈值由传递函数来确定。传递函数一般是非线性的，有时也采用线性函数。但应该注意许多问题不能简单地用一条直线分成两类。如图1-3中的四个点 $(0, 1)$ 、 $(0, 0)$ 、 $(1, 1)$ 、 $(1, 0)$ 为0和1两种类型(XOR问题)，如何划一条直线，使得输出0在直线的一方，而输出1在直线的另一方？回答是不可能的。

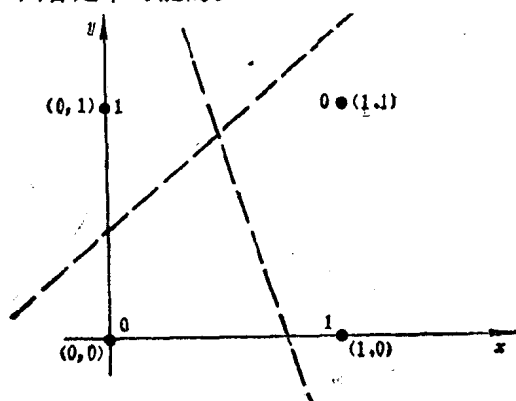


图1-3 XOR问题