

神经网络 与神经计算机

庄镇泉 王煦法 王东生 编著

科学出版社



73.821
615

神经网络与神经计算机

庄镇泉 王煦法 王东生 编著

科 学 出 版 社

1992

(京)新登字 092 号

DOR/3

内 容 简 介

本书主要从信息处理的角度介绍神经网络的基本原理,学习算法,当前神经计算机的发展动态以及神经网络理论在智能信息处理中的应用。

全书共分十章。内容包括:神经网络研究的发展概况,神经网络模型,神经芯片,神经计算机,光神经计算机,神经网络模型的软件模拟,神经网络在模式识别、视觉信息处理以及智能控制和人工智能中的应用。

为便于读者应用神经网络模型求解各种实际问题,书中还附有神经网络的几种常用模型(包括 Hopfield 模型、多层网络 B-P 模型和玻耳兹曼机模型)的模拟程序以及 Hopfield 联想记忆程序和求解 TSP 问题程序的全部程序清单。

本书可作为高等院校计算机、无线电电子学、生物、物理、自动控制等有关专业高年级大学生或研究生的教材和参考书,也可供从事人工智能、信息处理研究和应用的科技人员学习参考。

神经网络与神经计算机

庄镇泉 王煦法 王东生 编著

责任编辑 鞠丽娟

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年12月第一版 开本:850×1180 1/32

1992年12月第一次印刷 印张:13 1/2

印数:1—3320 字数:358000

ISBN 7-03-003127-x/TP·231

定价:15.20元

1010162

前 言

对人脑和神经系统的研究至今已有很长的历史。长期以来，人们一直梦想着通过对神经系统的研究发明一种仿效人脑信息处理模式的智能式计算机。

尽管从40年代冯·诺依曼发明基于串行符号处理的数字电子计算机以来，数字电子计算机已经获得了巨大的成功，但在诸如模式识别、人工智能等研究领域却碰到了极大的困难，从而促使人们以更大的兴趣去研究以并行处理模式为特征的神经计算机。

80年代初，在美国、日本和欧洲都掀起了一股研究神经网络理论和神经计算机的热潮。各个先进国家相继投入巨额资金，制定出强化研究计划，并开展了对脑功能和新型智能计算机的研究。当前的研究重点则是将神经网络原理应用于图像处理、模式识别、语音综合及智能机器人控制等领域。目前，有关神经网络的研究机构遍及美国各大学、公司以及国防、航天领域的研究部门。1987年6月在美国召开了第一届神经网络国际会议，并发起成立了国际神经网络学会(INNS)。此后，IBM公司、贝尔研究所和日本的富士通、NEC等公司纷纷开始研制各种神经芯片，并相继推出各种硬件和软件产品。

当前，国内外神经网络的研究热潮仍方兴未艾，国内在这方面的研究已蓬勃展开，神经网络的研究已成为当代人工智能领域最富挑战性和最引人入胜的研究热点。

神经网络的主要特征是：大规模的并行处理和分布式的信息存贮，良好的自适应性、自组织性，以及很强的学习功能、联想功能和容错功能。通过对神经网络的研究，将会对探索更加完善的智能计算机系统和相应的人工智能技术开辟新的途径。

本书是在综合国内外有关文献，并结合近年来我们研究工作

的基础上编写的。书中主要从信息处理的角度,介绍神经网络的基本原理,学习算法,当前神经计算机的发展动态以及神经网络理论在智能信息处理中的应用技术。本书第六章专门介绍了几种常用的神经网络模型的模拟程序,以便于读者参考。本书第一、二章由庄镇泉编写,第三、四、五章由王东生编写,第七、八、九、十章由王煦法编写,第六章及附录由王煦法、王东生合作编写,全书由庄镇泉主审。清华大学边肇祺教授对本书初稿提出了许多宝贵意见,在此谨致谢意。

由于我们学识水平所限,书中错误和不妥之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正。

作 者

1991年春于中国科技大学

目 录

第一章 绪论	1
1.1 神经网络与神经计算机	1
1.2 脑神经系统与信息处理	7
第二章 神经网络模型和学习算法	18
2.1 神经元的数理模型	18
2.2 分层网络模型和 B-P 学习算法	22
2.3 Hopfield 模型	31
2.4 玻耳兹曼机	35
2.5 认知器模型和自组织映射模型	48
第三章 神经器件	57
3.1 神经器件概述	57
3.2 神经元电路	61
3.3 采用模拟电路实现的神经器件	70
3.4 采用数字电路实现的神经器件	83
3.5 硅联想存贮器	92
3.6 神经器件展望	113
第四章 神经计算机	121
4.1 神经计算机概述	121
4.2 Odyssey 系统	132
4.3 Neuro Turbo 系统	143
4.4 利用超级计算机进行神经计算	153
第五章 光神经计算机	160
5.1 神经网络与光技术	160
5.2 光神经计算	162
5.3 光神经器件	170
5.4 光联想记忆系统	179

5.5	大规模、高性能的光连接问题	184
第六章	神经网络模型的软件模拟	188
6.1	Hopfield 模型的模拟程序	188
6.2	Hopfield 联想记忆程序	195
6.3	用 Hopfield 模型求解 TSP 问题的程序	204
6.4	多层网络 B-P 算法的模拟程序	216
6.5	玻耳兹曼机的模拟程序	223
第七章	神经网络在模式识别中的应用	229
7.1	概述	229
7.2	新认知器模型与字符识别	234
7.3	语音识别	253
第八章	神经网络在视觉信息处理中的应用	270
8.1	概述	270
8.2	双眼立体视觉	272
8.3	图像恢复	278
8.4	图像压缩编码	287
8.5	用于初期视觉处理的神经网络模型	296
第九章	神经网络在智能控制中的应用	304
9.1	概述	304
9.2	神经网络在机器人控制中的应用	309
9.3	神经网络在自学习控制系统中的应用	340
第十章	神经网络在人工智能和认知科学中的应用	348
10.1	结合论	348
10.2	基于神经网络的知识系统设计	359
附录一	Hopfield 模型的模拟程序	378
附录二	Hopfield 联想记忆程序	382
附录三	用 Hopfield 模型求解 TSP 问题的程序	390
附录四	多层网络 B-P 算法的模拟程序	397
附录五	玻耳兹曼机的模拟程序	417
参考文献		423

第一章 绪 论

1.1 神经网络与神经计算机

对神经网络的研究由来已久,其发展概况如表 1.1 所示. 40 年代初, McCulloch 和 Pitts 首先从信息处理的观点,采用数理模型的方法对神经细胞的动作进行了研究,并于 1943 年提出二值神经元阈值模型. 1949 年心理学者 Hebb 提出了今天称为 Hebb 学习法则的,由改变神经元之间结合强度来实现学习的方法. 其基本思想至今仍在各种神经网络研究中起重要作用.

1960 年前后,许多人从工程的角度,研究了用于信息处理的神经网络模型以及具有学习能力的模式识别装置. 其中,以 1962 年 Rosenblatt 所提出的感知机(perceptron)最具代表性,这个模型虽然比较简单,但已经具备神经网络的一些基本性质,例如可学习性、并行处理、分布式存贮、连续计算等. 这些性质与当时流行的串行的、离散的、符号处理的电子计算机及其相应的人工智能技术完全不同,因此引起了众多研究者的兴趣,在 60 年代,国外已掀起了神经网络研究的第一次热潮.

进入 70 年代以后,神经网络的研究经历了近 10 年的低潮时期. 其原因是 Minsky 和 Papert 在 1969 年出版了一本有较大影响的名为“Perceptron”的书,该书对感知机的功能及其局限性进行了深入的分析,得出了较为悲观的结论. 但从今天来看,当时产生低潮的更为主要的原因是因为自 60 年代后期开始,由于集成电路和微电子技术日新月异的发展使得电子计算机的计算速度提高,成本价格下降,新一代产品不断推向市场. 这个进步给人以错觉,以为串行信息处理及以它为基础的传统人工智能技术的潜力是无穷的,所以暂时掩盖了发展新型计算机和寻找新的人工智能

表 1.1

电子数字计算机	神经计算机
1945年冯·诺依曼奠定了基于符号的串行处理的现代数字计算机的基本思想。	1943年McCulloch-Pitts提出二值神经元模型。1949年Hebb提出神经网络学习准则，奠定了神经网络理论的基础。
1946—1959年 第一代计算机 (电子管)	第一次研究高潮： 50—60年代
1959—1964年 第二代计算机 (晶体管)	Rosenblatt, 感知机(1962年) 低潮时期： 60年代末—70年代，基础研究
1964—1970年 第三代计算机 (集成电路)	第二次研究高潮： 80年代初—现在
1970—1979年 第四代计算机 (大规模集成电路)	福岛邦彦，新感知器(1980年) Hinton, 玻耳兹曼机(1981年) Hopfield模型(1982年) Kohonen, 自组织映射模型 (1984年)
1982年开始 第五代计算机 (并行、逻辑推理、左脑功能)	Rumelhayt, McClelland, 并行分布处理(PDP)模型 (1986年)
	1987年以后，研究各种神经网络的软件模拟和硬件实现，研制硅神经芯片和光神经器件，并进一步探索具有右脑功能的新型智能计算机。

途径的必要性和迫切性。另一方面，当时对脑的计算原理、对神经网络计算的优点、缺点、可能性及其局限性等还很不清楚。由硬件直接实现或用软件方法企图实行并行处理、学习功能等优良特性，并在工艺上制造能与真实神经系统相比拟的神经网络，这在当时的技术条件下是极其困难的。因此，迫使许多学者纷纷从这个领域中转移出来。

但这一低潮时期，却正是神经网络基础理论研究的积蓄时期。美国、日本等国都有少数学者扎扎实实地继续着神经网络模型和

学习算法的研究,提出了许多有意义的理论和方法.其中包括:无教师学习、兴奋模式的非线性动力学、统计神经力学、联想存贮模型、认知器(cognitron)模型等等.与此同时,这一时期的神经科学和脑科学也有很大进展.例如在视觉研究方面,一些新的概念,例如感受野概念、皮层的功能柱结构、信息的并行处理等,都对以后新型智能计算机的研究提供了重要的启示.

进入 80 年代,对神经网络的研究又开始复兴,并掀起第二次研究热潮.1980 年前后,随着电子计算机的发展和不断完善,首先掀起了人工智能的研究高潮,并展开了以人工智能的实用化为目标的知识工程研究,其中尤以专家系统特别引人注目.

专家系统是先把各行专家的智慧归纳为一系列相互关系的被称为“知识库”的一般规则,并把专家们对问题做决定时的推断能力编成计算机程序,使得计算机能够模仿人类的推理并作出相似的决定,这个过程很像一位专家在运用过去积累的知识来解决一系列的新问题.表面看来,似乎将赋予计算机以智能,在专家系统的发展过程中,确实也在诸如矿物勘探、医疗诊断、分析化学结构等许多方面获得较大成功.但是经过一段时间之后,实际情况表明,专家系统并不像人们所希望的那样高明,特别是在认知功能方面,例如在处理视、听觉功能、形象思维、联想记忆以及运动控制等方面,冯·诺依曼型计算机和传统的人工智能技术面临着重重困难.这是由于包括人脑在内的智能信息处理过程,实际上具有并行直观型和串行逻辑型两个侧面,如果单靠串行逻辑和符号处理等传统的解决方法来解决复杂问题,可能产生计算量的组合爆炸,目前还无法克服.因此具有并行分布处理模式的神经网络理论又重新受到人们的重视,人们希望通过神经网络研究寻找实现人工智能的新的有效的途径.

1982 年,美国生物物理学家 Hopfield 提出一种新的神经网络模型,引入“能量”函数,使得网络稳定性研究有了明确的判据.特别是这种模型所具有的联想记忆、分类与误差自动校正等智能功能,尤其引起人们的兴趣.1984 年 Hopfield 将这种模型用简

明的模拟电子电路实现,并应用于目前电子计算机尚难于解决的N-P完全问题,例如,著名的“巡回推销员问题”(TSP),并取得了很好的解答。

此后,许多对并行、分布处理感兴趣的计算机科学家和生物物理学家,如Hinton, Rumelhart 和 McClelland 等人做了大量深入的开拓性工作,发展了随机神经网络模型,深入研究了多层神经网络的解算能力和算法,提出了许多新的理论和学习算法。例如,反向传播算法、玻耳兹曼机、模拟退火算法、联想记忆、竞争学习以及运动控制的学习模型等等。

与此同时,在神经计算机的硬件实现方面,美国、日本都先后研制出由模拟集成电路或数字集成电路做成的神经芯片,其规模由几十个神经元发展到几百个神经元。此外,由各种专用集成电路做成的神经网络仿真器也大量涌现,各种各样的产品相继问世。由于神经网络特别适合于用光技术来实现,因此人们正在探索如何将光技术用于更复杂神经网络的光神经器件和光神经计算机。

通过神经网络的研究,并以此为原型研制模仿人脑功能的神经计算机,一直是神经网络研究的一个主要目标。

1964年开始问世的冯·诺依曼型计算机,实际上是一种建立在图灵的问题算法求解等基本思想基础上的万能图灵机。图灵认为,任何物理可实现系统和过程都必须是能够有效计算的,任何可实现的物理动态过程是和计算等价的。也就是说,只要针对问题的性质,提出相应的算法,并编制有效的计算程序,即可对问题进行求解。这种算法求解方法采用的是串行的信息处理过程,即每次从计算机的存贮器中取出其中的一个存贮信息加以计算,并进行逻辑判断,然后决定下一步应该继续执行存贮器中的哪一条指令。由于它充分利用了计算机的快速运算能力,因此,不管问题多么复杂,只要有算法,问题就可以求解。近半世纪以来的实践证明,它在高精度计算和一些可编程问题的求解以及过程模拟、过程控制等方面已经取得了巨大的成功。

但是反过来,它也同时带来了问题的局限性,即对于那些还找

不到有效计算算法和明确的计算方法的问题,例如,在人工智能、模糊识别、动力学过程模拟等方面,就碰到了有限时间和空间的障碍,对于人脑所具有的直觉感知、创造性思维、联想功能等,更是无能为力。

冯·诺依曼型计算机的这种局限性,迫使人工智能和计算机科学家必须另外寻找发展智能计算机的途径,并把注意力重新转向人脑的信息处理模式。

近年来,正在兴起的神经计算学就是为了探明大脑的信息处理方式,建立脑的模型,进一步阐明并行信息处理的基本原理,并研究从应用角度寻求其工程实现的方法。

大脑是生物经过漫长岁月进化的结果,是具有高度智能功能的复杂系统。与目前的“电脑”不同,它不必采用繁复的数字计算和逻辑运算,却能灵活处理各种复杂和模糊情况。

80年代开始研制的日本第五代计算机,由于具有逻辑推理和理解人讲话的功能,被称为“左脑”型计算机。日本将于1992年开始的,面向21世纪的新一代智能计算机,则是旨在研究善于理解图像和直觉判断的属于“右脑”型的计算机。

但是,也应该看到,直到现在,人类对自身大脑的研究,尤其是对其中智能信息处理机制的了解还十分肤浅。对神经网络理论和它所能实现的目标,还众说纷纭,并存在不同的争论。新一代智能计算机的研究还处于起步阶段,离实用化还需要走很长的一段路,过于乐观或采取消极否定态度都是不足取的。

目前,国内外对神经网络的研究,主要集中在如下三个领域:

1. 神经网络的理论研究

(1)开展认知科学的研究。探索包括知觉、思考、记忆和语言等的脑信息处理模型。采用诸如结合论(connectionism)等方法,将认知信息处理过程模型化,并通过建立神经计算学来代替算法论。

(2)利用物理学的方法进行单元间相互作用理论的研究。例

如,采用统计物理学方法处理联想记忆模型.

(3)在数学领域进行非线性动力学系统解的深入研究.开展有关神经网络的数理研究,包括:神经网络动力学、神经集团的宏观力学和非线性神经场的兴奋模式等研究.

2. 神经网络原理的工程应用

主要应用领域是:

- (1)模式识别、联想功能.
- (2)语音识别、语音合成.
- (3)智能机器人控制.
- (4)知识处理.
- (5)数据压缩等.

3. 神经网络的软件模拟和硬件实现(广义的神经计算机)

(1)在通用计算机、专用计算机或者并行计算机上进行软件模拟;或由专用数字信号处理芯片构成神经网络仿真器.

(2)由模拟集成电路、数字集成电路或者光器件在硬件上实现神经芯片.

软件模拟的优点是网络的规模可以较大,但处理速度慢,适于用来验证新的模型和复杂的网络特性.

硬件实现的优点是处理速度快,但由于受器件物理因素的限制,根据目前的工艺条件,网络规模不可能做得太大.例如:采用硅 VLSI 的神经芯片,现在只能做到几百个神经元.但由于它是构成未来神经计算机的基础,因此特别受到人们的重视.

从上面的简要介绍可以看出,当前正在兴起的神经网络理论,不仅给新一代智能计算机的研究带来巨大影响,而且将推动整个人工智能领域的发展,其深远意义一时还难以估计.但另一方面,由于问题本身的复杂性,不论是神经网络原理本身,还是正在努力进行探索和研究的神经计算机,目前都还处于基础性的起步发展阶段,它的影响力和最终所能达到的目标,目前还不十分明确,还

有待于继续深入进行研究。

人们深信,在人类科学发展的里程碑上,人类大脑的研究将是 21 世纪的一个划时代的挑战。可以预计,未来的神经网络研究前景令人鼓舞,人类最终一定会揭开人脑的奥秘。

1.2 脑神经系统与信息处理

1.2.1 脑神经系统的结构

生物的脑神经系统是自生命诞生以来,经历了几十亿年漫长岁月的进化结果。大脑的发达导致高等动物的出现。其后,约在 200 万年前,由于人类直立步行的缘故,使得大脑更加发达,终于具有高度的智能。

人脑从外部观察,可分为左、右两个半球,称为大脑。另外,其后部的一小块称为小脑。大脑担负认知、语言、记忆等高级功能,与大脑密切联系的小脑则担负高级运动控制等功能。大脑和小脑的表面覆盖有一层脑皮质,下面连接有众多的神经纤维。

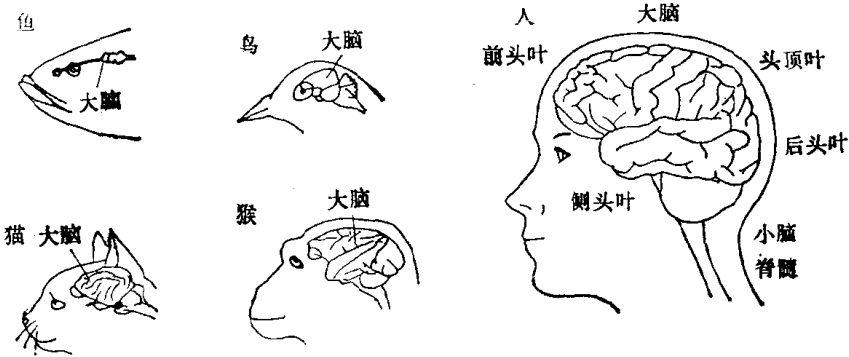
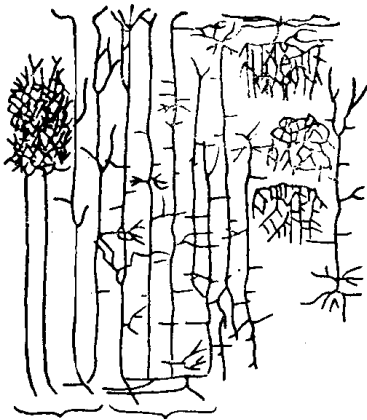


图 1.1 脑的进化

神经纤维是构成人脑的重要组成部分,它在脑与感觉器官和运动器官之间起联络作用。其中,从未梢感觉器官的信息传向中枢的神经称为上行性(或称求心性)神经。这里所指的末梢感觉器官包括:视、听觉器官,肌肉等运动器官和胃肠等消化器官。将中枢的信息传向末梢器官的神经称为下行性(或称远心性)神



上行性神经 下行性神经
图 1.2 神经纤维

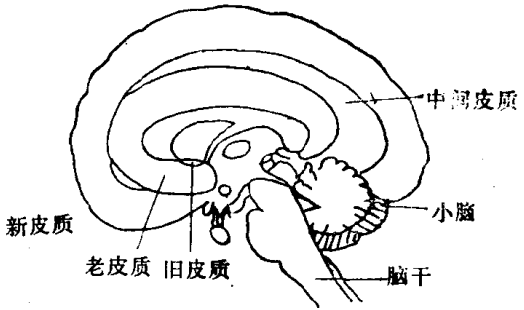


图 1.3 大脑的新皮质、老皮质和旧皮质

经。人的听觉神经纤维约有 10 万条，视觉神经纤维则约有 100 万条之多，如图 1.2 所示。

根据神经生理学的研究，人脑的皮质按进化的顺序可分为旧皮质、老皮质和新皮质等自里向外三层。这三层皮质分别担任人类神经系统的三种功能。即食欲、逃走等本能功能，愉快、不安等情绪功能以及认知、随意运动等高级功能。其中，旧皮质以具有嗅觉处理的嗅皮质为代表，老皮质以海马皮质为其代表。哺乳类等高等动物，尤其是猿猴和人等灵长类动物的新皮质特别发达，并分为前头叶、头顶叶、后头叶以及侧头叶四个大区域。新皮质和老皮质之间称为中间皮质，如图 1.3 所示。

大脑皮质的内部呈层状结构。其中新皮质约有 5—7 层，老皮质有 3 层。新皮质从表层至深层按 I 层、II 层、III 层的顺序以此类推。各层厚薄不等，例如 I 层较其它各层都薄。

在皮质内部与各层相垂直的是一个可区分为一定大小的圆柱形结构，它作为皮质的功能单元用来收集皮肤上某一点的感觉信息，然后由多个圆柱单元再构成更高一位的功能单元。即皮质神经网络实际上是一种三维的主体结构。如图 1.4 所示，图中

P_{Y1} , P_{Y2} 为神经细胞, S_1, S_2, S_3 和 NS 为起联络作用的星状细胞, 颗粒细胞等. M 为联系皮质各层的两极细胞.

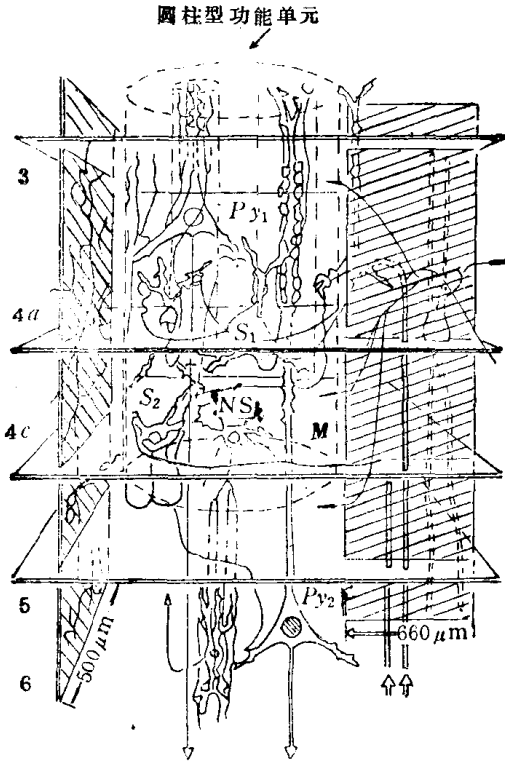


图 1.4 大脑皮质的功能单元

1.2.2 神经元(neuron)

神经系统是一个有高度组织和相互作用的群体. 例如, 人类的中枢神经系统, 包括脊髓和脑就是由大约 100 亿 (10^{10}) 个神经元组成的.

神经元即神经细胞, 是神经系统的基本单元, 复杂的神经网络就是由数目众多的各种类型的神经元按不同的结合方式构成的. 通过神经元的可塑特性, 将使人脑具有学习、记忆和认知等各种智能.

神经元的主要结构如图 1.5 所示. 它是由细胞体和由细胞体发出的一个或多个突起所组成. 其中, 大部分突起起感受作用, 接

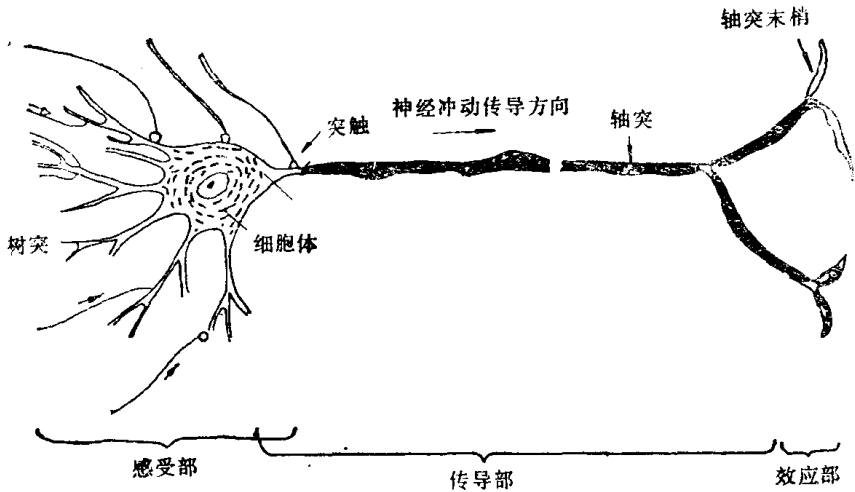


图 1.5 神经元构造

受其它神经元来的信息,称为树突. 通常还有一个突起用来传递和输出信息,称为轴突.

树突可以看作是细胞体的延伸部,它自细胞体发出后逐渐变细,其全长各点都可接受其它神经元的轴突末梢,形成突触(synapse).

突触是一个神经元的轴突末梢与另一个神经元所形成的功能性接触点. 根据神经元学说,在突触处两个神经元的细胞质并不连通,仅仅是彼此发生功能联系的界面.

突触大约可分为两类:一类称为化学性突触,其神经冲动传递需借助于化学递质的作用;另一类称电突触,其冲动传递不需化学递质起中间作用,而是借助于相邻两细胞间的低电阻通道,迅速交换离子,引起突触后膜的电位发生变化.

电生理的研究表明,突触可分为兴奋性的或抑制性的,这取决于突触前部的“活性”是否能使突触后膜的电位超过引起神经冲动的阈值. 复杂的神经网络就是依靠众多突触所建立的链式通路和反馈环路来传递信息,并在神经元之间建立密切的形态和功能联系.

神经元的大小、形状以及突触的数目和分支方式差别很大.一