

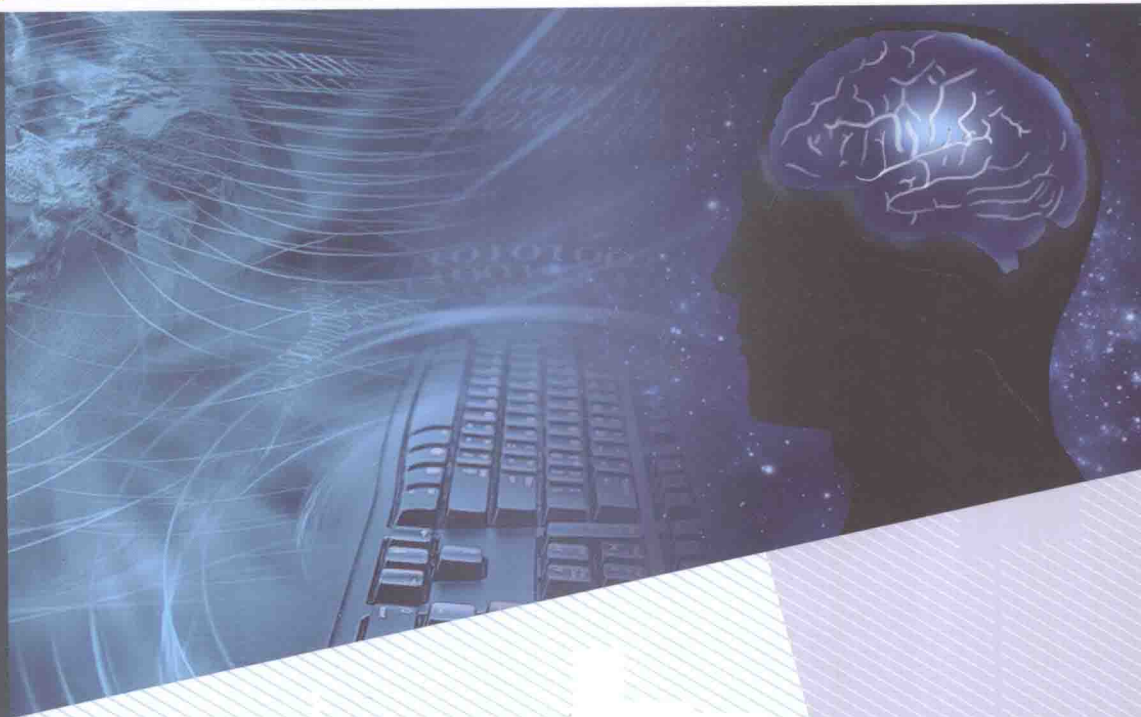


智能

科学/技术/著作/丛书

机器人脑

肖南峰 等 编



科学出版社

智能科学技术著作丛书

机器人脑

肖南峰 等 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍机器人脑的基础理论和关键技术及实际应用,内容包括机器人脑的基础知识、构成原理、网络计算、云计算、学习方法、视觉处理、人机对话、情感交互、作业控制、未来发展等。通过阅读本书,读者可以进一步开扩视野、增强知识,深入了解和掌握与机器人脑相关的体系结构、数学模型、认知计算、学习策略、模式识别、情感建模、自律作业、人工生命、法律道德等基础知识和相关技术,从而为今后研究、开发、应用各种类型的智能机器人等打下坚实的基础。

本书内容翔实、理论与实践相结合、深入浅出、可读性强,可以作为在机械、农业、医疗、交通、教育、服务等行业从事机器人研究、开发、应用的科研工作者和工程技术人员的参考书,也可以作为自动化、电子信息和机械工程等专业高年级本科生、硕士研究生及博士研究生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机器人脑 / 肖南峰等编. —北京: 科学出版社, 2016

(智能科学技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-049440-5

I. ①机… II. ①肖… III. ①智能计算机—研究 IV. ①TP387

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 170989 号

责任编辑: 裴 育 陈 婕 / 责任校对: 蒋 萍

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencecp.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 8 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2016 年 8 月第一次印刷 印张: 22

字数: 440 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《智能科学技术著作丛书》编委会

名誉主编：吴文俊

主 编：涂序彦

副 主 编：钟义信 史忠植 何华灿 何新贵 李德毅 蔡自兴 孙增圻
谭 民 韩力群 黄河燕

秘 书 长：黄河燕

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

蔡庆生（中国科学技术大学）

蔡自兴（中南大学）

杜军平（北京邮电大学）

韩力群（北京工商大学）

何华灿（西北工业大学）

何 清（中国科学院计算技术研究所）

何新贵（北京大学）

黄河燕（北京理工大学）

黄心汉（华中科技大学）

焦李成（西安电子科技大学）

李德毅（中国人民解放军总参谋部第六十一研究所）

李祖枢（重庆大学）

刘 宏（北京大学）

刘 清（南昌大学）

秦世引（北京航空航天大学）

邱玉辉（西南师范大学）

阮秋琦（北京交通大学）

史忠植（中国科学院计算技术研究所） 孙增圻（清华大学）

谭 民（中国科学院自动化研究所） 谭铁牛（中国科学院自动化研究所）

涂序彦（北京科技大学）

王国胤（重庆邮电学院）

王家钦（清华大学）

王万森（首都师范大学）

吴文俊（中国科学院数学与系统科学研究院）

杨义先（北京邮电大学）

于洪珍（中国矿业大学）

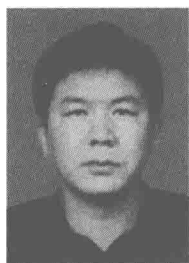
张琴珠（华东师范大学）

赵沁平（北京航空航天大学）

钟义信（北京邮电大学）

庄越挺（浙江大学）

作者简介



肖南峰, 1962 年 11 月生, 现任华南理工大学计算机科学与工程学院“智能计算机”科研团队责任教授、博士生导师。1982 年 7 月毕业于华中工学院(现为华中科技大学)自动控制与计算机工程系, 获工学学士学位; 1989 年 1 月毕业于东北工学院(现为东北大学)自动化系, 获工学硕士学位; 2001 年 6 月毕业于日本横滨国立大学工学部, 获工学博士学位。2001 年 9 月至 2002 年 9 月在澳大利亚 Deakin 大学工学院从事智能机器人研究。作为主持人先后承担或完成了 4 项国家自然科学基金项目, 2 项广东省自然科学基金重点项目, 1 项广东省基础和应用基础研究专项资金重大基础研究培育项目, 1 项广东省公益研究与能力建设专项项目, 以及由教育部、广东省科技厅、广东省教育厅、广州市科技创新委员会、华南理工大学和有关企业等资助的各类课题共计 40 项。在国内外学术杂志和学术会议上发表学术论文近 200 篇, 其中被 SCI/EI/ISTP 三大索引收录近 100 篇(次); 主编或参编出版中英文专著及教材 12 部; 申请或获得发明及实用新型专利 26 项, 软件版权 29 个。

《智能科学技术著作丛书》序

“智能”是“信息”的精彩结晶，“智能科学技术”是“信息科学技术”的辉煌篇章，“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”(intelligence science & technology, IST)是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域，其研究对象包括：

- “自然智能”(natural intelligence, NI)，包括“人的智能”(human intelligence, HI)及其他“生物智能”(biological intelligence, BI)。

- “人工智能”(artificial intelligence, AI)，包括“机器智能”(machine intelligence, MI)与“智能机器”(intelligent machine, IM)。

- “集成智能”(integrated intelligence, II)，即“人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。

- “协同智能”(cooperative intelligence, CI)，指“个体智能”相互协调共生的群体协同智能。

- “分布智能”(distributed intelligence, DI)，如广域信息网、分散大系统的分布式智能。

“人工智能”学科自1956年诞生以来，在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展，从狭义人工智能走向广义人工智能，从个体人工智能到群体人工智能，从集中式人工智能到分布式人工智能，在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合，那么可以认为，现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981年，“中国人工智能学会”(Chinese Association for Artificial Intelligence, CAAI)正式成立，25年来，从艰苦创业到成长壮大，从学习跟踪到自主研发，团结我国广大学者，在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展，促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下，我国智能科学技术的研究、开发及应用，在学术思想与科学方法上，具有综合性、整体性、协调性的特色，在理论方法研究与应用技术开发方面，取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向和显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及应用成果，中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛

书》。需要强调的是，这套丛书将优先出版那些有助于将科学技术转化为生产力以及对社会和国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信，有广大智能科学技术工作者的积极参与和大力支持，以及编委们的共同努力，《智能科学技术著作丛书》将为繁荣我国智能科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

祝《智能科学技术著作丛书》出版，特赋贺诗一首：

**智能科技领域广
人机集成智能强
群体智能协同好
智能创新更辉煌**

涂序彦

中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

前 言

机器人脑也被称为“类脑”或“人造大脑”，它是一种能够完成知识处理、问题求解、适应环境的智能计算机。机器人脑的主要组成部分涉及智能机器人、智能存储、智能软件、智能计算、智能通信等；其研究内容包括体系结构、数学模型、信息融合、科学计算、机器学习、视听计算、情感交互、人机接口、人工生命、自律作业，以及法律法规、伦理道德、文学艺术等；其主要目的是实现数据、信息、知识、硬件、软件、计算、存储、通信等资源的全面连通和全面共享。机器人脑研究实际上是一门始终处于脑科学、仿生学、心理学、计算机、自动化、电子学、机械学、材料学、电力学、化工学、物理学、社会学、法学等最前沿的交叉科学。

从宏观上看，机器人脑实际上就是一种人造大脑。若将这种人造大脑与具有“眼”、“手”、“腿”、“嘴”、“鼻”、“耳”、“舌”的智能机器人相配合，那么具有这种人造大脑的智能机器人就相当于一个“超人”，它可以在任意的时间、地点和条件下，自律地代替或者帮助人类完成各项工作。虽然现有的各类智能机器人具有良好的机动性和独特的功能，但因它们缺乏人造大脑而使大多数成为了摆设。因此，近年来机器人脑在许多国家引发了巨大的研究热情，很多研究机构和著名的大学及企业都成立了以开发机器人脑为目的的研究部门，希望通过研究机器人脑来获得能够帮助或代替人脑进行思维、学习、判断、推理、情感、记忆、语言、视觉、触觉、听觉、味觉、嗅觉、运动、协作、步行、作业等的方法和技术及原型，并且最终用机器人脑来指挥和协调及控制智能机器人帮助或代替人类完成机械制造、化工生产、农机操作、太空探测、深海作业、科学研究、军事战斗、医疗手术、家务劳动、教育娱乐等各种工作。

为了配合国内外机器人脑的研究与开发，特别是推动和促进“中国脑计划”的研发，作者本着理论与实践相结合、深入浅出的原则，结合自身的科研成果，并参考了国内外大量的研究资料及相关的互联网新闻，编写了这部学术性和实用性都很强的科普著作。书中详尽介绍了机器人脑的各种基础理论和最新研究成果，以期为我国从事机器人脑研究与开发的科研工作者、工程技术人员及高等院校师生提供参考和范例。

本书由肖南峰（第1，2，10章及全书统稿），俞平、区永强和詹勋昌（第3章），程兴国（第4章），区永强和周静（第5章），谭昶、李仕钊和朱启敏（第6

章), 姚永刚和陈健彬(第7章), 蒋艳容和谢丽君(第8章), 甘志刚、吴畏、韦婷和黄沛鑫(第9章)等编写而成, 华南理工大学“智能计算机”科研团队的各位老师也提出了许多宝贵的意见。此外, 本书的出版和作者的相关工作得到了广州市科技创新委员会科普专著出版基金(项目编号201507020013)、国家自然科学基金(项目编号60375031、60776816、61171141、61573145)、广东省自然科学基金(重点项目编号36552、8251064101000005, 重大基础研究培育项目编号2015A030308018)、广东省公益研究与能力建设专项(项目编号2014B010104001)的资助, 在此表示衷心的感谢。由于作者水平有限, 书中难免存在不妥之处, 恳请广大读者批评指正。

作 者

2016年6月

目 录

《智能科学技术著作丛书》序

前言

第 1 章 机器人大脑的基础知识	1
1.1 人的大脑	1
1.2 人工智能	6
1.3 人造大脑	9
1.4 科学研究	14
1.4.1 科学定义	14
1.4.2 研究目的	15
1.4.3 研究内容	15
1.4.4 研究方法	16
第 2 章 机器人大脑的构成原理	19
2.1 概述	19
2.2 智能机器人	20
2.3 智能软件	23
2.4 智能计算	24
2.5 智能存储	25
2.6 智能通信	26
第 3 章 机器人大脑的网格计算	28
3.1 概述	28
3.2 机器人大脑网格计算平台的实现	29
3.2.1 机器人大脑网格计算平台设计	29
3.2.2 机器人大脑网格计算平台测试	34
3.2.3 机器人大脑网格计算平台升级	40
3.2.4 机器人大脑网格计算平台验证	46
3.3 机器人大脑的神经网络系统建模	48
3.4 机器人大脑的混合神经网络计算	54
3.4.1 混合神经网络计算原理	54
3.4.2 混合神经网络计算架构	56

3.4.3 混合神经网络分类方法	61
3.5 机器人大脑网格计算平台的应用	63
第4章 机器人大脑的云计算平台	65
4.1 概述	65
4.2 机器人大脑云计算平台的实现	68
4.2.1 机器人大脑云计算平台基础架构	68
4.2.2 机器人大脑云计算平台文件系统	71
4.2.3 机器人大脑云计算平台计算模型	73
4.2.4 机器人大脑云计算平台特点分析	79
4.3 机器人大脑云计算平台的改进	80
4.4 机器人大脑云计算平台的应用	82
第5章 机器人大脑的学习方法	93
5.1 概述	93
5.2 机器学习方法分类	96
5.3 模拟人脑推理	99
5.3.1 CPN 网络原理	100
5.3.2 CPN 算法描述	101
5.3.3 模拟推理应用	101
5.4 增量学习系统	103
5.4.1 人类的睡眠学习	103
5.4.2 睡眠增量式学习	104
5.4.3 增量式学习实现	108
5.4.4 增量式学习应用	111
5.4.5 可持续学习能力	114
5.5 深度学习及其应用	114
5.5.1 深度学习原理	116
5.5.2 深度学习现状	121
5.5.3 深度学习发展	123
5.6 脑机接口原理及应用	124
5.6.1 脑机接口的原理	126
5.6.2 脑机接口与控制	129
5.6.3 智能可穿戴设备	133
5.6.4 治疗脑部的疾病	135

第 6 章 机器人大脑的视觉处理	136
6.1 概述	136
6.2 视觉处理研究现状	136
6.3 视觉处理系统设计	141
6.4 机器人大脑的人脸识别	144
6.4.1 基本框架	145
6.4.2 图像预处理	146
6.4.3 特征提取	146
6.4.4 分类器设计	151
6.4.5 人脸识别	154
6.4.6 结果分析	163
6.5 机器人大脑的手势识别	167
6.5.1 手势识别原理	167
6.5.2 手势检测方法	174
6.5.3 手势交互方法	179
6.5.4 手势分类识别	186
第 7 章 机器人大脑的人机对话	187
7.1 概述	187
7.2 人机对话原理	188
7.3 中文分词方法	191
7.4 中文分词算法	193
7.4.1 分词算法技术难点	193
7.4.2 分词算法基本原理	195
7.4.3 分词算法实现步骤	196
7.4.4 分词算法性能测试	202
7.5 对话系统管理	203
7.5.1 对话管理理论和方法	203
7.5.2 对话管理内容和功能	205
7.5.3 对话管理功能的实现	207
7.6 人机对话实现	211
7.6.1 人机对话框架	211
7.6.2 大规模语料库	213
7.6.3 分词算法实验	218
7.7 人机对话应用	222

7.7.1	智能教学系统	222
7.7.2	智能问答系统	224
7.7.3	功能框架设计	225
7.7.4	系统工作原理	225
7.7.5	功能模块实现	226
7.7.6	性能测试分析	230
第 8 章	机器人大脑的情感交互	232
8.1	概述	232
8.2	情感建模	239
8.2.1	情感状态空间	240
8.2.2	情感模型分析	242
8.3	模型验证	243
8.3.1	情感模型设计	243
8.3.2	模型参数分析	245
8.4	情感设计	248
8.4.1	情感交互模型	249
8.4.2	情感信号识别	249
8.4.3	D-S 证据理论	251
8.5	情感表达	253
8.5.1	面部表情表达	253
8.5.2	情感语音合成	254
8.6	情感仿真	255
8.6.1	仿真系统	255
8.6.2	情感过程	256
8.6.3	仿真实现	259
8.6.4	仿真结果	261
第 9 章	机器人大脑与作业控制	263
9.1	概述	263
9.2	仿人机器人的双脚控制	263
9.2.1	混合智能计算框架	264
9.2.2	Open HRCP 及应用	271
9.3	仿人灵巧手的主从示教	284
9.3.1	拇指示教样本集生成	291
9.3.2	训练样本的聚类方法	294

9.4 仿人灵巧手控制及应用.....	294
9.4.1 运动映射跟随应用.....	297
9.4.2 运动映射跟随分析.....	300
第 10 章 机器人大脑的未来发展.....	302
10.1 机器人大脑的发展现状.....	302
10.2 机器人大脑的最新成果.....	306
10.3 机器人大脑与“永生人”.....	310
10.4 机器人大脑与数据挖掘.....	313
10.5 机器人大脑与法律法规.....	318
参考文献.....	322

第 1 章 机器人大脑的基础知识

机器人大脑也称为“类脑”(或智能计算机、人造大脑),它不仅涉及脑科学、仿生学、心理学、计算机、自动化、电子学、社会学、法律学,而且也与机械、材料、电力、化学、物理、生物、航空、军事、医疗、教育、娱乐等学科交叉。本章旨在介绍机器人大脑的基础知识,以使读者对机器人大脑有一个全面的了解,并且为今后学习、研究、设计、开发、使用机器人大脑奠定基础。

1.1 人的大脑

人的大脑(以下简称为人脑或大脑)是在几十亿年生物进化的历史长河中不断修补和堆积而成的产物,人的一切心理活动都要经过人脑的活动来实现,人的身体也是通过人脑的活动来适应变化的环境。虽然 21 世纪被学术界称为是脑和人工智能(artificial intelligence, AI)的世纪,但至今人们依然对智力、情感、意识等人脑的高级智慧和功能认知甚少,关于人脑的研究和学说目前也是众说纷纭。

人脑的结构和构成等^[1]分别如图 1.1(a)和(b)所示,人脑的外观最显著的特点是波浪般的肿块和沟槽模式,它的结构是演化的多层次结构,并且具有复杂的自适应行为。人脑的纵向剖面由灰质和白质构成,它们是人脑中中枢神经系统的重要成分。灰质是由具有特定功能的神经细胞(也称神经元)组成的神经中枢,其作用是支配联络神经,并且在人脑中交织地形成神经网络;白质是由长长的和相互连接的神经纤维组成,它们支配着感觉神经,主要起传导作用,白质团块主要分散在人脑中的灰质网络中。

在过去的 200 万年间,人脑的容量进化成了原始人脑的 3 倍左右。非洲古猿人脑的容量约为 450cm^3 ,而现代人脑的容量为 $1000\sim 1500\text{cm}^3$ 。现有的研究表明,人的高级智慧功能与人脑的容量关系不大,但却与人脑的神经元数量、神经元之间的连接、神经网络的复杂程度、灰质和白质的发育状况等有关,它们的质量共同决定了大脑中神经网络的多样性和通畅程度。人脑具有解决各种简单或复杂问题的高级智慧功能,这是因为人脑中由大规模互联的神经元构成的神经网络在起作用。神经元是一种特殊的细胞,它们的功能是处理并向其他细胞传递信息,如图 1.2(a)所示。为了进行交流,它们会通过突触释放出化学信号或者说神经传导物质。这些化学物质会被毗邻的细胞接受,然后转变成为一种电信号或者动作电位,这种电信号会沿着神经元的细长轴突进行传递。当电信号传递到

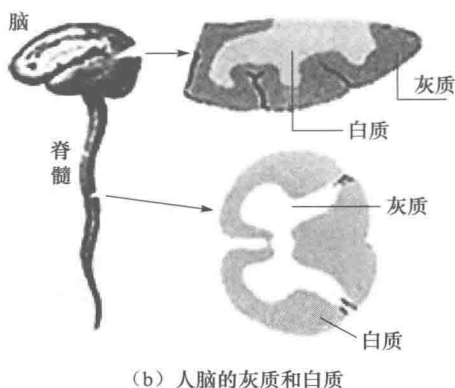
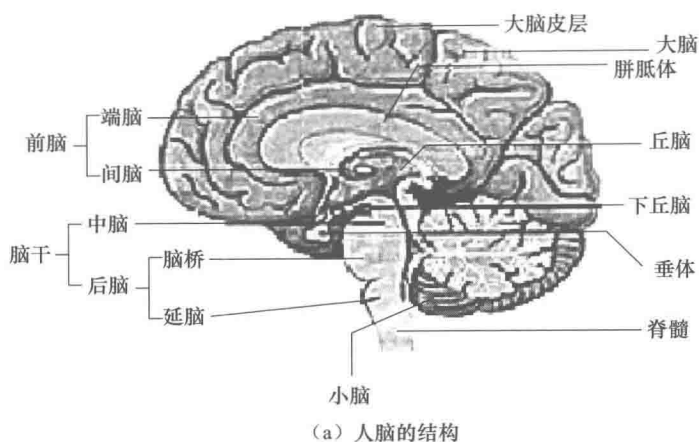


图 1.1 人脑的结构、灰质和白质^[1, 2]

另一端时，会再次转变成为一种化学信号通过突触释放，准备再一次引发传递过程。统帅全身和应激外部反应都要通过神经元来传递信息。一个神经元由大小、形态各异的细胞体和细胞突构成。细胞突是指细胞向外突出的树突和轴突，树突的形状如树枝，其作用是接受刺激，并将神经冲动传向细胞体；轴突的长度差别很大，人体内最长的轴突可以从脑顶部顺着脊椎到达腰椎。每个神经元只有一根轴突，其作用是将神经冲动以 $3 \sim 120 \text{m/s}$ 的传导速率从神经元里传出，并送到与它联系的所有神经元。一个神经元与另一个神经元相接触的部位称为突触。单个神经元不能独立地执行神经网络的功能，各个神经元必须互相联系。对于脊椎动物来说，神经元之间在结构上没有细胞质相连，仅仅是互相接触而已。

尽管人们对人脑及其神经纤维（神经网络）构造和神经元等目前还知之不多，但科学家们最近发现了神经纤维的排列方式。据互联网消息，美国脑神经学

家道格拉斯·罗什尼（Douglas Rosene）利用扩散光谱成像技术推断出了神经纤维的位置，并通过扫描揭示了神经纤维的有序编织方式。这是一种比之前所预想的要简单得多的有序编织曲线，实际上是由大约成直角和彼此交叉的神经纤维构成的网格，这种网格在人脑发育过程中相当于高速公路上的车道标记，以帮助生长中的神经纤维找到通往目的地的道路。这项研究成果为人们分析人脑提供了一种新的框架。另据来自互联网的消息，一个由多个欧洲国家科学家组成的联合研究小组也宣称，他们利用新型核磁共振成像技术，历时三年完成了大脑白质的微观结构图集。此外，最近，一个瑞典的科学家团队在世界上首次成功地培育出了功能完全与神经元一样，并且具有信号传输功能的人造神经元，它甚至能够与真正的神经元进行沟通和交流，而这一切都是在人体外进行的。大脑白质微观结构图集的完成和人造神经元的诞生将大大地推动人脑的研究，这对于未来脑科学和神经科学的研究和发展具有重要意义。神经网络的工作原理如图1.2（b）所示。当某个来自人脑的刺激发生时，神经元就通过树突→胞体→轴突→神经连接→其他细胞等处理，迅速地将该刺激传到其他的神经元。树突、轴突、突触构成了信息传递“道路”，这样一条道路就是一个信息处理通路，人脑的整个神经网络就是由无数个神经元及神经连接而成的一个神奇的和巨大的信号处理系统。

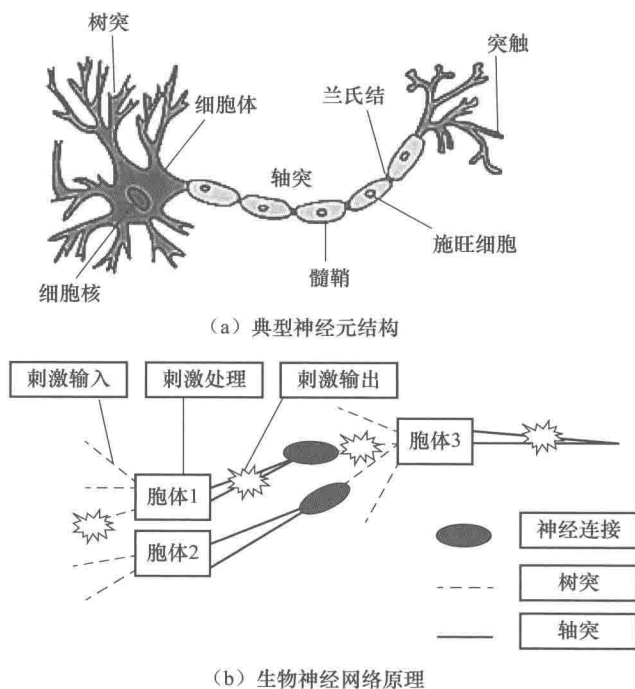


图 1.2 典型神经元结构与生物神经网络原理^[2, 3]