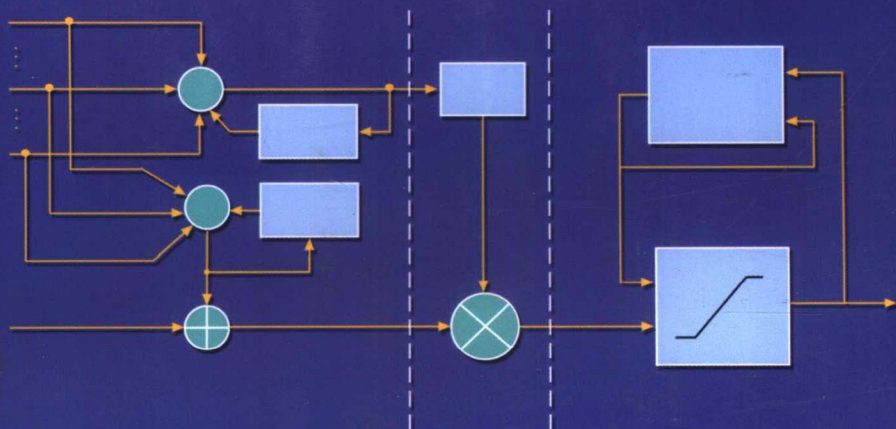




智能科学技术著作丛书

脉冲耦合神经网络 原理及其应用

马义德 李 廉 王亚馥 戴若兰 著



科学出版社

www.sciencep.com

智能科学技术著作丛书

脉冲耦合神经网络原理 及其应用

马义德 李 廉 王亚馥 戴若兰 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在详细阐述脉冲耦合神经网络(PCNN)原理的基础上,深入分析其在数字图像处理技术中的应用,特别介绍了在图像分割、边缘检测、参数寻优、图像增强、目标识别、图像标示、压缩编码、噪声抑制及语音识别等方面的最新研究成果,同时介绍了与数学形态学、小波变换、粗集理论等结合的应用实例,还给出了在 Matlab 环境下编程实现的主要程序,以便研究人员和学习者尽快掌握,利于其在我国的应用和相关芯片的开发设计。

本书适合图像通信工程等相关领域的研究人员和信息处理相关专业的研究生、高年级本科生参考使用,也适合数字信号处理和数字图像分析及处理专业的相关研究者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

脉冲耦合神经网络原理及其应用/马义德等著. —北京:科学出版社,2006
(智能科学技术著作丛书)

ISBN 7-03-016657-4

I. 脉… II. 马… III. ①神经网络-理论②神经网络-应用

IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 154532 号

责任编辑:田士勇 耿建业/责任校对:朱光光

责任印制:安春生/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.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年4月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2006年4月第一次印刷 印张: 12 1/2 插页: 1

印数: 1—2 500 字数: 223 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))



图 6.6 增强前后对比

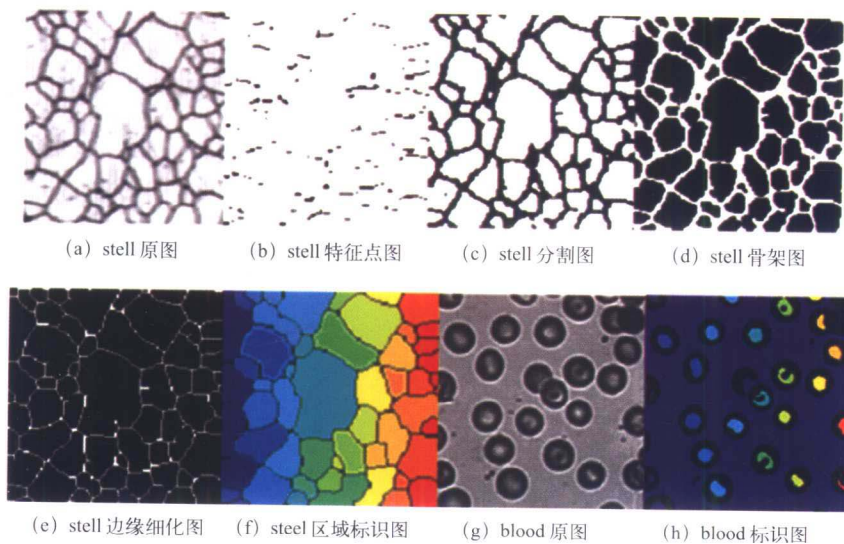


图 8.2 实验仿真结果

本书为下列基金项目的研究成果：

985 特色研究项目 (LZ85-231-582627)

国家自然科学基金项目 (60572011)

甘肃省自然科学基金 (AZS001-A15-008-Z)

甘肃省自然科学基金 (YS021-A22-00910)

甘肃省自然科学基金 (3ZS041-A25-017)

甘肃省中青年科技基金 (3ZS041-A25-018)

兰州大学交叉学科青年创新研究基金

兰州大学博士科研启动经费

《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 蔡自兴 孙增圻 童安齐 谭 民

秘 书 长：韩力群

副秘书长：田士勇

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

蔡庆生（中国科技大学）

蔡自兴（中南大学）

杜军平（北京工商大学）

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）

黄河燕（中国科学院计算语言研究所）

黄心汉（华中科技大学）

焦李成（西安电子科技大学）

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）

田士勇（科学出版社）

童安齐（科学出版社）

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（中国科学院系统科学研究所）

杨义先（北京邮电大学）

尹怡欣（北京科技大学）

于洪珍（中国矿业大学）

张琴珠（华东师范大学）

钟义信（北京邮电大学）

庄越挺（浙江大学）

庆祝人工智能诞生50周年

暨

中国人工智能学会成立25周年

吴文俊

《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，简称 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，简称 NI），包括：“人的智能”（human intelligence，简称 HI）及其他“生物智能”（biological intelligence，简称 BI）。

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

- “集成智能”（integrated intelligence，简称 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，简称 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，简称 DI），如：广域信息网，分散大系统的分布式智能。

1956年，“人工智能”学科诞生，五十年来，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，简称 CAAI）正式成立，二十五年来，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。

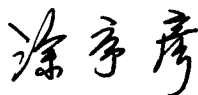
祝《智能科学技术著作丛书》出版，特赋贺诗一首：

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



中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

前 言

生物神经元具有多方面的特性,包括:具有兴奋与抑制两种状态;具有多输入单输出的特点,神经元胞体上各种树突的突触后接受周围与之相连的神经元轴突的突触前电脉冲信息,并在空间和时间上按叠加方式作用;另外,其输入和输出之间还具有明显的非线性效应,所有神经元树突上突触后的输入并不是简单的以求和方式影响本神经元的脉冲发放,而是具有非线性相乘的调制耦合特性,这些非线性特性都在生物神经系统试验研究中得到了进一步验证;突触之间的连接强度可以调节;真实神经元(其轴突、突触和树突)都存在不可避免的时间延迟和处理过程中的不断变化。而以 BP 等为代表的传统人工神经网络利用生物神经元有限属性简化模型构建,忽略了神经元具有的延迟特性、非线性耦合调制特性等,因此,它们与实际神经网络差距很大,处理信息之前都要经过样本学习或训练的预处理过程。尽管存在上述的种种局限性,但是它们仍显示出惊人的完成任务能力。整个领域内充满了新观点。

20 世纪 90 年代产生的脉冲耦合神经网络(PCNN)模型,直接来自于 Eckhorn 等对猫的视觉皮层神经细胞研究,是模拟视觉神经细胞活动而得到的人工神经元模型。所以其算法直接源自于哺乳动物的视觉特性研究,相比于 BP 等传统神经网络模型,PCNN 模型同时利用了神经元特有的线性相加、非线性相乘调制耦合两种特性。PCNN 模型还考虑了生物电脉冲传输离子通道特性;考虑了哺乳动物视神经系统视野受到适当刺激时,相邻连接神经元(甚至在猫视觉皮层相邻 7mm 范围内)同步激发产生 35~70Hz 振荡脉冲串特性;还有内部活动中偏置一项实为神经元处于抑制状态时,内部活动平衡态的一种等效表示。PCNN 为单层模型神经网络,不需要训练过程即可实现模式识别、图像分割、目标分类等,因此非常适合实时图像处理环境。同时,PCNN 在处理图像的同时将二维空间变量转化为一维时间脉冲序列。这样 PCNN 模型向生物实际神经网络更靠近了一步,当然它对输入信息处理能力更强、性能更好,这就是直到今天其应用研究还在逐步深入的原因。

尽管 PCNN 神经元模型较传统 BP 网络等人工神经元模型前进了一步,但距实际生物神经网络还有很长一段距离,因为 PCNN 模型需要确定较多的参数。截至目前,其理论发展依然存在不足,主要表现在图像处理效果与模型参数之间的关系并不清晰,这是国内外学者积极关注的热点。

PCNN 课题组是国家自然科学基金项目(60572011)的一项重要研究内容,

也是兰州大学 985 特色研究项目 (LZ85-231-582627) 的重要子课题组。PCNN 课题组是国内最早开展 PCNN 研究的团队之一, 同时带动了国内其他学者对 PCNN 的研究。课题组近十年来通过对 PCNN 理论及其应用研究, 形成了自己的特色, 积累了很好的成果, 对于 PCNN 的理论研究和实际应用以及数字图像处理技术的发展具有重要应用价值和现实意义。

课题组首次提出了基于被分割图像的信息熵最大原则的 PCNN 自动分割新算法, 避免了最佳分割判定需人为干预的问题, 显著提高了 PCNN 神经网络进行图像分割的效率; 结合数学形态学, 提出了一种双层脉冲耦合神经网络与形态学相结合的区域标识算法, 该算法对于后续分割信息的度量分析和模式识别具有特定的应用价值; 实现了基于聚类的 PCNN 图像分割新算法; 分析讨论了 PCNN 的理论发展和应用研究。特别是 PCNN 模型在不同的应用中需要确定较多的分割参数, 结合各种寻优算法进行 PCNN 模型参数的自动确定是 PCNN 理论发展的重点和难点。我们已经在遗传算法寻优应用研究基础上, 实现了一种改进 PCNN 模型参数自动确定; 在探索数字图像脉冲噪声、干扰抑制新方法研究中, 提出了结合中值滤波和 PCNN 的脉冲噪声混合滤波新算法, 以及基于 PCNN 的高斯噪声滤波新算法等; 结合视觉特性和施密特正交集, 提出了基于 PCNN 特性的不规则形状图像分割编码新算法。另外, 首次验证了 PCNN 神经元兴奋过程的指数衰减特性等等。这都是对 PCNN 理论所做的工作, 是对其应用的进一步推动, 为此将我们的研究成果编写成著作, 利于国内同行对 PCNN 的理论研究及其应用工作的全面开展。

本书在详细阐述 PCNN 原理的基础上, 分析了其在数字图像处理技术中的应用, 反映了作者团队对 PCNN 理论及其应用的主要研究成果, 特别是在图像分割、边缘检测、参数寻优、图像增强、目标识别、图像标示、压缩编码、噪声抑制及语音识别等方面的最新研究成果, 同时介绍了 PCNN 与数学形态学、小波变换、粗集理论等结合的应用实例, 还给出了各实例的 Matlab 程序源代码, 便于研究和学习者尽快掌握和学习研究, 推动相关芯片的应用和开发设计。

全书共分 8 章, 第 1 章至第 2 章为基本原理篇, 在概要回顾和介绍人工神经网络技术及其在图像处理应用的基础上, 主要讲解 PCNN 的基本原理, 概略介绍 PCNN 在各个方面的应用; 第 3 章至第 8 章为 PCNN 应用篇, 主要讲解 PCNN 在图像噪声滤波、压缩编码、图像分割、图像增强等应用方面的研究成果, 还讲解了 PCNN 与粗集理论、小波变换及形态学等之间的相互关系。其中, 第 1 章从神经元的基本概念出发, 简要介绍和回顾了人工神经网络技术的发展及其在数字图像处理中的应用。第 2 章首先详细阐述 PCNN 的基本概念、基本原理和发展现状及存在的问题, 然后结合其数学模型给出了 PCNN 及其改进模型的 Matlab 程序实现。第 3 章主要分析和阐述了 PCNN 及其改进模型在图像噪声滤

波中的应用,详细介绍了作者提出的几种噪声滤波算法。第4章阐述图像压缩编码技术发展现状,特别是分割图像压缩编码技术,详细分析和介绍了作者提出的基于 PCNN 模型的不规则形状分割压缩编码算法。第5章阐述了图像分割技术发展现状,结合图像信息熵值详细分析介绍了作者提出的几种基于 PCNN 和信息熵的图像分割新算法;基于聚类分割思想,进行了基于聚类 PCNN 图像分割算法研究和模型的改进。第6章简略介绍图像增强技术的同时,详细分析和介绍了 PCNN 在灰度图像增强、彩色图像增强和局部图像增强中的应用。第7章详细阐述了 PCNN 与粗集理论、数学形态学和小波变换等其他理论方法之间的异同点和它们结合应用的实例。第8章详细介绍了 PCNN 在图像标定、最佳路径求解、有噪图像识别和语音识别等方面的应用实例。

本书力求做到深入浅出、通俗易懂。在有关算法介绍之前,先用一定篇幅介绍该领域的研究现状与进展,帮助读者开阔视野,了解技术发展前沿。另外,章末给出大量参考文献,可结合学习。本书不仅仅是一本 PCNN 方面的专著,而且也是一本数字图像处理方面的应用技术著作。本书非常适合图像通信工程等相关领域的研究人员和信息处理相关专业研究生以及高年级本科生参考使用,同样也适合数字信号处理和数字图像分析及处理领域的研究人员阅读。

本书的内容主要是作者和课题组同事、研究生长期科研工作的成果积累,为此感谢同事刘映杰副教授、张久文副教授、张新国高工、张在峰讲师的大力支持和热情帮助;作者还要特别感谢研究生吴承虎、齐春亮、史飞、钱志柏、刘勃、袁敏、王兆滨、夏春水、张北斗、敦建征、申建军、徐光柱、田勇、张祥光、马潮、杜鸿飞、陆福相、杨森、王晓燕等的辛勤劳动和出色工作,是他们年复一年的持续努力才使得本书得以面世。另外,本书的编写也参考了相关文献,作者对这些文献的作者表示真诚的谢意!

由于神经网络与智能信息处理是正在发展中的热点领域,理论性强,技术更新快,加上作者水平有限,书中难免有很多不足和缺点错误,恳请广大专家同行批评指正!

作者

2005年8月

目 录

《智能科学技术著作丛书》序

前言

第 1 章 神经网络图像处理技术	1
1.1 神经元	1
1.2 人工神经网络技术	10
参考文献	15
第 2 章 PCNN 模型及其应用概述	16
2.1 PCNN 模型	16
2.2 PCNN 应用于数字图像处理	20
2.3 PCNN 模型的 Matlab 实现	24
参考文献	28
第 3 章 PCNN 在图像滤波中的应用	31
3.1 图像处理中的噪声与滤波	31
3.1.1 噪声的特征与分类	31
3.1.2 传统的噪声抑制方法	32
3.1.3 一些新兴的噪声抑制方法	34
3.2 基于简化 PCNN 模型的脉冲噪声滤波器	35
3.2.1 简化 PCNN 模型结构	35
3.2.2 基于简化 PCNN 模型的脉冲噪声滤波器	36
3.3 基于 PCNN 的高斯噪声滤波器	40
3.3.1 基于简化 PCNN 模型的高斯噪声滤波器	40
3.3.2 基于 PCNN 赋时矩阵的高斯噪声滤波	42
参考文献	46
第 4 章 PCNN 在图像分割中的应用	48
4.1 图像分割技术	48
4.1.1 图像分割的定义	48
4.1.2 图像分割领域需要解决的问题	48
4.2 生物细胞图像分割技术的进展	50
4.2.1 生物细胞图像分割技术的现状	50
4.2.2 生物细胞图像本身属性是自动分割的难点	56

4.3 基于 PCNN 和熵值最大原则的植物细胞图像分割	58
4.3.1 基于 PCNN 和熵值最大原则的植物胚性细胞图像分割研究	58
4.3.2 实验结果分析	61
4.4 基于聚类的分割技术进展	63
4.4.1 图像分割的实质	63
4.4.2 基于聚类的图像分割技术	64
4.5 基于区域生长的 PCNN 分割	69
4.5.1 区域生长的概念	69
4.5.2 Robert D Stewart 等人的 PCNN 改进模型	70
4.5.3 对 Robert D Stewart 等模型的改进及结果讨论	74
4.6 基于交叉熵的改进型 PCNN 图像自动分割方法	80
4.6.1 最小交叉熵阈值分割算法	81
4.6.2 PCNN 模型及其改进	82
4.6.3 计算机仿真结果与分析	84
4.7 基于遗传算法的 PCNN 自动系统的研究	87
4.7.1 基于遗传算法和 PCNN 的图像自动分割算法的设计与实现	87
4.7.2 仿真实验结果和结论	90
4.8 基于 PCNN 的图像边缘检测方法	93
4.8.1 基本原理及检测方法	93
4.8.2 计算机仿真结果	94
参考文献	95
第 5 章 PCNN 在图像编码中的应用	102
5.1 图像压缩编码概述	102
5.1.1 传统的压缩编码技术	102
5.1.2 现代图像压缩编码技术	105
5.2 基于 PCNN 的分割图像编码	108
5.2.1 分割图像编码原理	108
5.2.2 基于 PCNN 的图像分割编码	112
参考文献	116
第 6 章 PCNN 与图像增强	119
6.1 图像增强概述	119
6.1.1 空域增强	119
6.1.2 频域增强	119
6.1.3 色彩增强	120
6.2 PCNN 灰度图像增强	121

6.2.1 整体对比度增强	121
6.2.2 局部对比度增强	124
6.2.3 实际结果比较	125
6.3 PCNN 彩色图像增强	128
6.3.1 彩色图像的色彩空间变换	128
6.3.2 彩色图像增强方法	129
6.3.3 实际结果比较	130
参考文献	133
第7章 PCNN 与粗集理论、形态学和小波变换	134
7.1 PCNN 与粗集理论	134
7.1.1 粗糙集理论的基本概念	134
7.1.2 Rough set 模型的扩展	137
7.1.3 粗糙集理论的应用	137
7.1.4 Rough set 与神经网络的结合	138
7.1.5 基于 PCNN 赋时矩阵与粗集理论不可分辨关系的图像增强	139
7.2 PCNN 与数学形态学	142
7.2.1 腐蚀和膨胀	142
7.2.2 开运算和闭运算	144
7.2.3 数学形态学基本运算的应用	144
7.2.4 PCNN 与数学形态学在图像处理中的等价关系	146
7.3 PCNN 和小波变换	153
7.3.1 小波理论概述	153
7.3.2 PCNN 与小波变换	156
参考文献	161
第8章 PCNN 的其他应用	164
8.1 PCNN 与图像标定	164
8.1.1 基于双层 PCNN 与形态学的区域标识算法	164
8.1.2 实验仿真结果	166
8.2 PCNN 求解最佳路径	167
8.2.1 DPCNN 模型	167
8.2.2 基于 DPCNN 的最短路径求解	168
8.2.3 仿真结果	169
8.3 PCNN 与有噪图像识别	170
8.3.1 基于 PCNN 的特征提取算法	171
8.3.2 实验仿真结果	172

8.4 PCNN 应用于语音识别	174
8.4.1 语谱图介绍	175
8.4.2 语谱图特征提取算法	176
8.4.3 实验仿真与结果分析	177
参考文献	181

第 1 章 神经网络图像处理技术

1.1 神 经 元

生物的脑神经系统通过感觉器官（视觉、嗅觉、味觉、触觉）接收外界的信息，并在大脑中加工处理，然后通过执行器官（肢体、发音器官等）向外界输

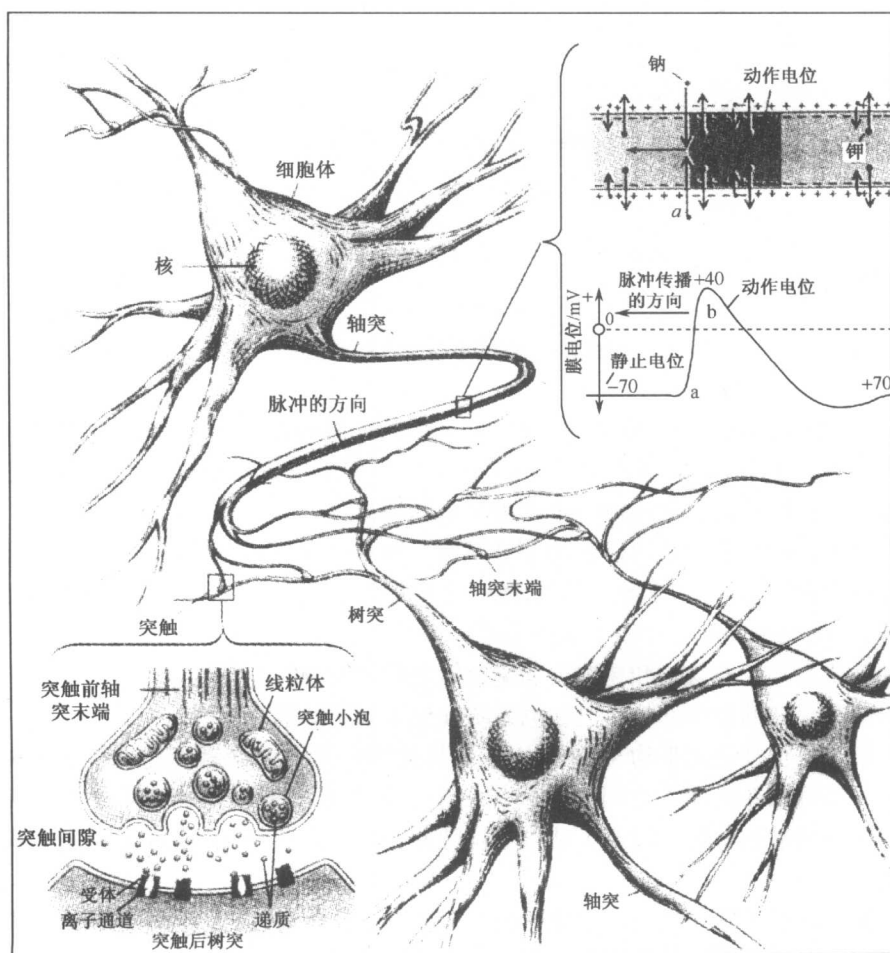


图 1.1 一个神经元的基本结构示意图