



国之重器出版工程  
网络强国建设

## Intelligent Information Processing

# 智能信息处理

黄忠华 王克勇 李银林 宋承天 **编著**



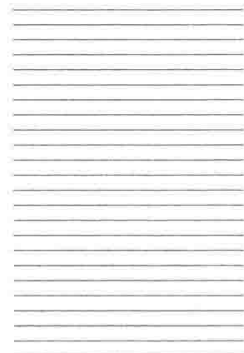
中国工信出版集团



北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



国之重器出版工程  
网络强国建设

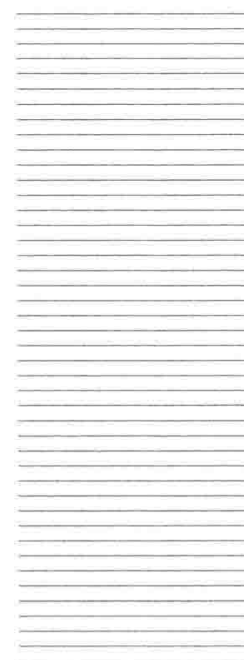


# 智能信息处理

---

Intelligent Information Processing

黄忠华 王克勇 李银林 宋承天 编著



## 内 容 简 介

本书从多学科综合的角度,以顶层向下(认知科学)和底层向上(神经生理学)相结合的形式说明了智能信息处理的基础;以人工神经网络为重点,说明了智能信息处理的连接机制、工作原理,介绍了几种典型神经网络的机理、计算方法及实现技术,以及进化计算、混沌与分数维等相关内容。

本书可作为模式识别与智能控制、机械电子工程等专业的研究生与高年级本科生使用的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

智能信息处理 / 黄忠华等编著. —北京:北京理工大学出版社, 2021.1  
国之重器出版工程  
ISBN 978-7-5682-9450-8

I. ①智… II. ①黄… III. ①人工智能-信息处理-高等学校-教材  
IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第000022号

---

---

出 版 / 北京理工大学出版社有限责任公司  
社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号  
邮 编 / 100081  
电 话 / (010) 68914775 (总编室)  
(010) 82562903 (教材售后服务热线)  
(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>  
经 销 / 全国各地新华书店  
印 刷 / 固安县铭成印刷有限公司  
开 本 / 710毫米×1000毫米 1/16  
印 张 / 22.75  
字 数 / 382千字  
版 次 / 2021年1月第1版 2021年1月第1次印刷  
定 价 / 78.00元

责任编辑 / 曾 仙  
文案编辑 / 曾 仙  
责任校对 / 周瑞红  
责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

# 《国之重器出版工程》 编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉	梁志峰	高东升	姜子琨	许科敏
陈 因	郑立新	马向晖	高云虎	金 鑫
李 巍	高延敏	何 琼	刁石京	谢少锋
闻 库	韩 夏	赵志国	谢远生	赵永红
韩占武	刘 多	尹丽波	赵 波	卢 山
徐惠彬	赵长禄	周 玉	姚 郁	张 炜
聂 宏	付梦印	季仲华		



## 专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：

- |     |                 |
|-----|-----------------|
| 于全  | 中国工程院院士         |
| 王越  | 中国科学院院士、中国工程院院士 |
| 王小谟 | 中国工程院院士         |
| 王少萍 | “长江学者奖励计划”特聘教授  |
| 王建民 | 清华大学软件学院院长      |
| 王哲荣 | 中国工程院院士         |
| 尤肖虎 | “长江学者奖励计划”特聘教授  |
| 邓玉林 | 国际宇航科学院院士       |
| 邓宗全 | 中国工程院院士         |
| 甘晓华 | 中国工程院院士         |
| 叶培建 | 人民科学家、中国科学院院士   |
| 朱英富 | 中国工程院院士         |
| 朵英贤 | 中国工程院院士         |
| 邬贺铨 | 中国工程院院士         |
| 刘大响 | 中国工程院院士         |
| 刘辛军 | “长江学者奖励计划”特聘教授  |
| 刘怡昕 | 中国工程院院士         |
| 刘韵洁 | 中国工程院院士         |
| 孙逢春 | 中国工程院院士         |
| 苏东林 | 中国工程院院士         |
| 苏彦庆 | “长江学者奖励计划”特聘教授  |
| 苏哲子 | 中国工程院院士         |
| 李寿平 | 国际宇航科学院院士       |



- 李伯虎 中国工程院院士
- 李应红 中国科学院院士
- 李春明 中国兵器工业集团首席专家
- 李莹辉 国际宇航科学院院士
- 李得天 国际宇航科学院院士
- 李新亚 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、  
中国机械工业联合会副会长
- 杨绍卿 中国工程院院士
- 杨德森 中国工程院院士
- 吴伟仁 中国工程院院士
- 宋爱国 国家杰出青年科学基金获得者
- 张彦 电气电子工程师学会会士、英国工程技术  
学会会士
- 张宏科 北京交通大学下一代互联网互联设备国家  
工程实验室主任
- 陆军 中国工程院院士
- 陆建勋 中国工程院院士
- 陆燕荪 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、  
原机械工业部副部长
- 陈谋 国家杰出青年科学基金获得者
- 陈一坚 中国工程院院士
- 陈懋章 中国工程院院士
- 金东寒 中国工程院院士
- 周立伟 中国工程院院士



- 郑纬民 中国工程院院士
- 郑建华 中国科学院院士
- 屈贤明 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和  
和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任
- 项昌乐 中国工程院院士
- 赵沁平 中国工程院院士
- 郝 跃 中国科学院院士
- 柳百成 中国工程院院士
- 段海滨 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 侯增广 国家杰出青年科学基金获得者
- 闻雪友 中国工程院院士
- 姜会林 中国工程院院士
- 徐德民 中国工程院院士
- 唐长红 中国工程院院士
- 黄 维 中国科学院院士
- 黄卫东 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 黄先祥 中国工程院院士
- 康 锐 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 董景辰 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员
- 焦宗夏 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 谭春林 航天系统开发总师



# 前言

智能信息处理是一门新兴的交叉学科，它与认知科学、脑神经生理学、信息科学、人工智能、计算机科学、数理科学等有着密切的关系，是各相关学科之间相互渗透和有机结合的产物。近年来，“智能”已成为热门话题，是许多学科研究和应用的热点，有广阔的应用前景。智能信息处理在国内外受到广泛重视，也取得了很多理论和应用成果。

笔者所在的教研室为本科生开设“智能信息处理”课程已有 20 余年。1998 年，郑链、王克勇编写了《智能信息处理讲义》第 1 版；2008 年，王克勇、宋承天在第 1 版讲义的基础上进行修订，编写了第 2 版讲义。本书是在这两版讲义的基础上编写的，结合了智能信息处理的发展和实际教学需要，并适当增加和删减了一部分内容。

全书共分 12 章。

第 1 章，绪论，主要介绍智能信息处理的主要技术及其相互关系。

第 2 章，智能科学的认知心理学基础，介绍认知科学的基本概念和方法。

第 3 章，生物神经元与神经系统，介绍智能信息处理的神经生理学基础。

第 4 章，人工神经网络概述，介绍人工神经网络概念和主要特性。

第 5 章，MP 模型和感知器，介绍两种早期简单的人工神经网络模型。

第 6 章，模式联想机，介绍一种最基本的并行分布处理模型。

第 7 章，BP 神经网络模型，介绍 BP 神经网络的概念、结构、学习算法及应用。

第 8 章，径向基函数神经网络，介绍径向基函数神经网络的结构、特点及学习算法。



第 9 章, 反馈型神经网络, 介绍霍普菲尔德神经网络的结构、特点、学习算法及应用。

第 10 章, 进化计算及应用, 介绍进化计算的发展、特点、遗传算法基本理论及应用。

第 11 章, 混沌及分数维, 介绍混沌与分形的概念、特点、典型模型及对人工神经网络研究的意义。

第 12 章, 神经网络的实现与应用, 介绍神经网络的实现方法、硬件实现的现状, 并列举了人工神经网络的适用应用领域。

本书由黄忠华、王克勇、李银林、宋承天编著, 王之骐博士在人工神经网络算法仿真和书稿校对方面做了大量工作, 徐源硕士在书稿校对方面也做了一些工作。

由于笔者水平有限, 书中难免有不妥或疏漏之处, 敬请读者批评指正。



# 目 录

第 1 章 绪论	001
1.1 智能	002
1.2 人工智能	003
1.2.1 人工智能的定义	003
1.2.2 人工智能的三个关键部分	004
1.2.3 人工智能的发展简史	005
1.3 计算智能	012
1.3.1 计算智能的产生与发展	013
1.3.2 计算智能的重要特征	015
1.4 智能信息处理的主要技术	018
1.4.1 模糊计算技术	018
1.4.2 神经计算技术	019
1.4.3 进化计算技术	021
1.5 智能技术的综合集成	022
1.5.1 模糊系统与神经网络的结合	022
1.5.2 神经网络和遗传算法的结合	023
1.5.3 模糊技术、神经网络和遗传算法的综合集成	024
1.5.4 神经、模糊和混沌的融合	025
1.5.5 混沌与分形——孪生兄弟	026
1.5.6 计算智能展望	026



第 2 章 智能科学的认知心理学基础 .....	029
2.1 认知的概念 .....	030
2.2 人的思维 .....	031
2.3 右脑的功能 .....	037
2.4 直觉的特征 .....	040
2.5 人脑短时记忆的限制 .....	042
2.6 本章小结 .....	043
第 3 章 生物神经元与神经系统 .....	045
3.1 生物神经元 .....	046
3.1.1 神经元的组成 .....	047
3.1.2 神经元的分类 .....	048
3.1.3 静息膜电位 .....	050
3.2 动作电位和 Hodgkin – Huxley 方程 .....	052
3.2.1 动作电位 .....	052
3.2.2 Hodgkin – Huxley 方程 .....	054
3.3 神经冲动的传导 .....	056
3.3.1 神经冲动的生成方式 .....	057
3.3.2 神经冲动传导的特点 .....	057
3.4 突触和突触传递 .....	058
3.4.1 突触的结构 .....	058
3.4.2 突触传递的机理 .....	060
3.5 人的神经系统组成 .....	064
3.5.1 中枢神经系统 .....	065
3.5.2 周围神经系统 .....	067
3.5.3 中枢神经系统的信息处理机能 .....	068
3.6 视觉神经系统 .....	070
3.6.1 眼球的结构 .....	070
3.6.2 眼的感光功能 .....	074
3.6.3 视觉信息加工 .....	075
3.6.4 视觉神经系统的信息处理 .....	080
3.7 本章小结 .....	082



第 4 章 人工神经网络概述 .....	083
4.1 人工神经网络概念的引发 .....	084
4.1.1 人脑神经系统的主要特点 .....	084
4.1.2 人工智能系统的几种不同途径 .....	088
4.1.3 人脑的建模研究 .....	091
4.1.4 人工神经网络的构思 .....	093
4.2 人工神经元模型和人工神经网络模型 .....	095
4.2.1 人工神经网络的定义 .....	095
4.2.2 人工神经元模型 .....	095
4.2.3 人工神经网络模型 .....	100
4.3 有关人工神经网络的能力与特点的讨论 .....	106
4.3.1 人工神经网络的稳定性特征和收敛特征 .....	106
4.3.2 人工神经网络的信息存储与计算能力 .....	109
4.3.3 人工神经网络技术的基本特征 .....	112
4.4 人工神经网络的发展史 .....	115
4.5 本章小结 .....	119
第 5 章 MP 模型和感知器 .....	121
5.1 MP 模型 .....	122
5.1.1 MP 模型的概念 .....	122
5.1.2 模式相似性的数学表示 .....	124
5.1.3 人工神经网络中的一个输出单元 .....	126
5.1.4 单层并行分布网络 .....	126
5.1.5 多层线性网络 .....	127
5.2 感知器 .....	128
5.2.1 感知器的概念 .....	128
5.2.2 广义线性判别函数及其规格化 .....	130
5.2.3 感知器网络的训练方法 .....	131
5.2.4 感知器的能力与局限性 .....	134
5.2.5 关于感知器 .....	140
5.3 本章小结 .....	142



第 6 章	模式联想机	143
6.1	模式联想的概念	144
6.2	模式联想学习规则的理论基础	145
6.2.1	Hebb 规则	145
6.2.2	$\delta$ 学习规则	147
6.3	模式联想机模型	152
6.3.1	模式联想机模型的 Hebb 规则	153
6.3.2	模式联想机中的 $\delta$ 规则	155
6.4	实例练习	156
6.4.1	练习 1: Hebb 规则学习的相似性和泛化	158
6.4.2	练习 2: 正交性、线性独立和学习	160
6.5	模式联想机的讨论	163
6.5.1	激活函数	164
6.5.2	学习假设	164
6.5.3	环境与训练期	164
6.5.4	性能量度	165
6.6	本章小结	165
第 7 章	BP 神经网络模型	167
7.1	BP 模型的概念及其产生背景	168
7.1.1	BP 模型的概念	168
7.1.2	BP 模型的产生背景	169
7.1.3	推广的 $\delta$ 规则	174
7.1.4	BP 算法	179
7.2	BP 算法计算实例——求解 XOR 问题	180
7.3	BP 算法的讨论	188
7.3.1	BP 神经网络拓扑结构的确定	189
7.3.2	BP 神经网络模型的样本数据筛选	189
7.3.3	BP 神经网络的训练	190
7.3.4	应用时需要考虑的问题	192
7.3.5	有待进一步研究的问题	193
7.4	BP 算法的应用举例	193



7.4.1	在系统辨识中的应用	193
7.4.2	几何图形的识别	196
7.5	本章小结	200
<b>第 8 章</b>	<b>径向基函数神经网络</b>	<b>201</b>
8.1	径向基函数神经网络结构	202
8.2	径向基函数神经网络的基本训练算法	203
8.3	径向基函数神经网络与多层感知器的比较	206
8.4	径向基函数神经网络改进方案	207
8.4.1	输入模式的预处理	207
8.4.2	基函数的选择	208
8.4.3	RBF 层的聚类算法的改进	209
8.5	本章小结	211
<b>第 9 章</b>	<b>反馈型神经网络</b>	<b>213</b>
9.1	离散型霍普菲尔德神经网络	214
9.1.1	离散型霍普菲尔德神经网络的工作方式	215
9.1.2	网络的稳定性	216
9.2	连续型霍普菲尔德神经网络	217
9.2.1	输入和输出的关系	217
9.2.2	能量函数和稳定性	218
9.3	离散型霍普菲尔德神经网络用于联想记忆	219
9.3.1	网络的学习	219
9.3.2	联想记忆的算法步骤	220
9.3.3	用 Hebb 规则设计权重的网络性质	220
9.4	霍普菲尔德神经网络用于优化计算	223
9.5	本章小结	225
<b>第 10 章</b>	<b>进化计算及应用</b>	<b>227</b>
10.1	概述	228
10.1.1	进化计算的产生背景	228
10.1.2	进化计算的发展过程	229
10.1.3	进化计算的主要特点	230



10.2	进化计算	232
10.2.1	进化计算的生物学基础	232
10.2.2	进化计算的基本结构	233
10.2.3	进化计算的分类	234
10.3	遗传算法的基本理论	235
10.3.1	遗传算法的基本思想	235
10.3.2	遗传算法的基本结构	236
10.3.3	基本遗传算子	242
10.3.4	遗传算法的数学基础	251
10.3.5	遗传规划	254
10.4	本章小结	257
第 11 章	混沌及分数维	259
11.1	混沌与混沌神经网络	260
11.1.1	混沌的概念及发展	260
11.1.2	对混沌现象的分析	263
11.1.3	混沌学和人工神经网络	270
11.2	分形和分数维	274
11.2.1	分形概念的提出	274
11.2.2	分形的特征	276
11.2.3	几种典型分形的分数维	278
11.2.4	人脑的混沌与脑电图的分数维	281
11.3	本章小结	283
第 12 章	神经网络的实现与应用	285
12.1	概述	286
12.1.1	神经网络计算机的主要特点	286
12.1.2	神经网络实现方法	287
12.2	神经网络硬件实现技术简介	288
12.2.1	神经网络的 VLSI 实现	289
12.2.2	神经网络的光学实现	292
12.2.3	神经网络的生物实现	293
12.3	神经网络硬件发展的现状	294



12.3.1	数字 VLSI 神经芯片 .....	294
12.3.2	模拟 VLSI 神经芯片 .....	297
12.3.3	数模混合神经芯片 .....	298
12.3.4	神经网络加速卡 .....	299
12.3.5	神经网络计算机 .....	299
12.3.6	关于神经网络实现技术的讨论 .....	301
12.4	人工神经网络的应用 .....	302
12.4.1	神经网络适用的应用领域 .....	302
12.4.2	ANN 的军事应用 .....	306
12.5	人工神经网络的发展展望 .....	308
12.5.1	人工神经网络发展中的问题 .....	308
12.5.2	人工神经网络的发展前景 .....	309
12.6	本章小结 .....	310
参考文献 .....		311
附录 .....		317
附录 A	智能信息处理实验 .....	317
附录 B	智能信息处理实验源代码 (部分) .....	327



# 第1章 绪论

