

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术

智能信息处理导论

孙红 主编

徐立萍 胡春燕 副主编



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术

智能信息处理导论

孙红 主编
徐立萍 胡春燕 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书可作为智能科学与技术、电子科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、电气工程、控制科学与技术等专业高年级本科生的教材和相关专业研究生、博士生“智能信息处理与优化”等课程的教材,同时可以供智能信息处理与智能控制技术研究人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

智能信息处理导论/孙红主编.--北京:清华大学出版社,2013.3

21世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术

ISBN 978-7-302-30576-7

I. ①智… II. ①孙… 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(2012)第 261450 号

责任编辑:付弘宇 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:焦丽丽

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:20.5

字 数:498千字

版 次:2013年3月第1版

印 次:2013年3月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:34.80元

产品编号:046339-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学

周立柱 教授

覃 征 教授

王建民 教授

冯建华 教授

刘 强 副教授

北京大学

杨冬青 教授

陈 钟 教授

陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授

吴超英 副教授

姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授

孟小峰 教授

陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授

赵 宏 副教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授

吴百锋 教授

杨卫东 副教授

同济大学

苗夺谦 教授

徐 安 教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

应吉康 教授

东华大学

乐嘉锦 教授

孙 莉 副教授

浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
扬州大学	李 云	教授
南京大学	骆 斌	教授
	黄 强	副教授
南京航空航天大学	黄志球	教授
	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授
南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	王宜怀	教授
	陈建明	副教授
江苏大学	鲍可进	教授
中国矿业大学	张 艳	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	叶俊民	教授
	郑世珏	教授
	陈 利	教授
江汉大学	颜 彬	教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	邹北骥	教授
中南大学	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永锋	教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
厦门大学	冯少荣	教授
厦门大学嘉庚学院	张思民	教授
云南大学	刘惟一	教授
电子科技大学	刘乃琦	教授
	罗 蕾	教授
成都理工大学	蔡 淮	教授
	于 春	副教授
西南交通大学	曾华燊	教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup. tsinghua. edu. cn

前言

智能信息处理就是模拟人或者自然界其他生物处理信息的行为,建立处理复杂系统信息的理论、算法和系统的方法和技术。智能信息处理主要面对的是不确定性系统和不确定性现象的信息处理问题。

智能信息处理在复杂系统建模、系统分析、系统决策、系统控制、系统优化和系统设计等领域具有广阔的应用前景。

人类具有探索自然规律、了解未知世界、探索自身奥秘的内在动力;具有生存和提高生活质量的需求。受这两个方面原动力的驱使,人类不断地研究新的方法和技术,不断地研制各种工具、仪器和机器,来延伸、拓展和增强自身的各种能力。各种工具、仪器和机器的制造增强了人的四肢和五官的能力,使人从繁重的体力劳动中解放出来。计算机的发明则增强了大脑的能力,拓展了人的记忆、计算、推理和思维能力。然而人类所面对的客观世界是变化的、发展的,是浩瀚无垠的,人类的知识虽然在不断丰富、不断更新,但是相对客观世界,始终是不完全的、不可靠的和不确定的。但人类正是用这些不精确的、不完美的知识,不断地、逐步地了解客观世界的。模糊系统理论、人工神经网络、进化计算、人工智能等都是在人类现有认识的基础上所产生的新的方法和理论,是人类进一步探索自然规律、了解未知世界、探索自身奥秘和提高生活质量的工具。

智能信息处理就是将不完全、不可靠、不精确、不一致和不确定的知识与信息逐步改变为完全、可靠、精确、一致和确定的知识与信息的过程和方法。就是利用对不精确性、不确定性的容忍来达到问题的可处理性和鲁棒性。智能信息处理涉及信息科学的多个领域,是现代信号处理、人工神经网络、模糊系统理论、进化计算、人工智能等理论和方法的综合应用。

本书介绍了这些理论、方法和工具,从智能信息处理产生的背景和发展历史、基本理论和方法、应用以及研究现状和发展趋势等方面,介绍了模糊理论及其应用、神经网络信息处理及其应用、云信息处理及其应用、可拓信息处理及其应用、粗集信息处理及其应用,遗传算法、免疫算法、蚁群算法优化处理、量子智能信息处理、多元信息融合和信息融合技术及其应用。

本书由孙红任主编,负责全书的审核修改和总纂,徐立萍、胡春燕任副主编,其中的第1~4章、第8~10章由孙红负责、第5、第6章由徐立萍负责、第7章由胡春燕负责。

本书在编写过程中参考了大量国内外相关论著,吸收了较多国内外学者的先进思想和研究成果,在此,谨向各位专家、学者致以诚挚的感谢。在本书撰写过程中,张建宏、吴钱忠、石慧娟、孔超宇、苏南、屠金炜、刘彪、秦守文、杨青青、王晓婉等分别参加了全书各章的资料收集和整理工作,清华大学出版社给予了大力支持和辛勤指导,在此表示衷心的感谢。

在编写本书的过程中,作者参考了大量的学术专著和论文,由于所参考的学术论文过多,无法一一标注和列出,对此特向这些文献的作者表示歉意!同时向从事智能信息处理研究的前辈专家、老师和同仁表示由衷的敬意和感谢!

本书在编写过程中还得到了各单位领导、同事和家人朋友的大力支持和帮助,衷心地感谢他们。

本书可作为智能科学与技术、电子科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、电气工程、控制科学与技术等专业的高年级本科生专业课程的教材和硕士生、博士生有关“智能信息处理与优化”的教材,同时可以供智能信息处理与智能控制技术研究人员参考。

由于编者水平有限,加上智能信息处理本身在不断地丰富和发展,书中难免存在疏漏和不妥之处,对此,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年5月

目 录

第 1 章 模糊信息处理	1
1.1 模糊信息概述	1
1.1.1 模糊信息相关知识	1
1.1.2 模糊研究内容与应用	5
1.1.3 诊断模糊模型	8
1.2 多目标模糊优化方法	13
1.2.1 常规多目标优化设计的模糊解法	13
1.2.2 模糊多目标优化设计	15
1.2.3 普遍型多目标模糊优化设计方法	17
1.3 数据处理的模糊熵方法	20
1.3.1 模糊熵的公理体系与定义	20
1.3.2 模糊熵的图像处理	21
1.4 自适应模糊聚类分析	22
1.4.1 相关的模糊聚类算法	23
1.4.2 自适应模糊聚类算法	24
1.4.3 算法收敛性分析	26
1.5 模糊关联分析	26
1.5.1 模糊关联分析法	26
1.5.2 评价原理和方法	27
1.5.3 实证研究	28
1.6 模糊信息优化方法	31
1.6.1 模糊信息优化处理的基本理论	31
1.6.2 模糊信息优化实例分析	32
1.7 模糊多属性决策的模糊贴近度方法	33
1.7.1 模糊多属性决策	33
1.7.2 模糊多属性决策模型	33
1.7.3 模糊多属性决策的模糊贴近度解法	34
1.7.4 算例分析	35
1.8 信息不完全确知的模糊决策集成模型	36
1.8.1 信息不完全确知的多目标决策	36
1.8.2 决策信息不完全确知的模糊决策集成模型	36
1.8.3 决策信息不完全确知的模糊决策集成模型分析	39

1.8.4 实例分析	40
1.9 模糊 Petri 网	41
1.9.1 Petri 网概述	41
1.9.2 模糊 Petri 网的基本理论	42
1.9.3 基于模糊 Petri 网的推理算法及应用	43
习题	44
第 2 章 神经网络信息处理	45
2.1 神经网络的一般模型	45
2.1.1 一般形式的神经网络模型	45
2.1.2 神经网络学习算法	45
2.1.3 神经网络计算的特点	46
2.1.4 神经网络的拓扑结构	47
2.2 BP 神经网络模型	47
2.2.1 BP 神经网络学习算法	47
2.2.2 BP 神经网络建模	49
2.3 贝叶斯神经网络	49
2.3.1 传统神经网络和贝叶斯方法	49
2.3.2 神经根网络的贝叶斯学习	50
2.3.3 贝叶斯神经网络算法	51
2.4 RBF 神经网络	52
2.4.1 RBF 特点	52
2.4.2 RBF 神经网络的结构与训练	52
2.4.3 高速公路 ANN 限速控制器的设计	53
2.5 贝叶斯——高速神经网络非线性系统辨识	54
2.5.1 BPNN 分析	54
2.5.2 BG 推理模型和 BGNN	54
2.5.3 BGNN 的自组织过程	56
2.5.4 仿真研究	57
2.6 广义神经网络	57
2.6.1 智能神经元模型	57
2.6.2 广义神经网络模型及学习算法	58
2.6.3 交通流预测模型	59
2.7 发动机神经网络 BP 算法建模	59
2.7.1 发动机性能曲线神经网络处理方法	59
2.7.2 发动机神经网络辨识结构	60
2.8 组合灰色神经网络模型	62
2.8.1 灰色预测模型	62
2.8.2 灰色神经网络预测模型	64

2.8.3 电力远期价格预测	65
2.9 概率神经网络	66
2.9.1 概率神经网络结构	66
2.9.2 概率神经网络训练	67
习题	68
第3章 云信息处理	70
3.1 隶属云	70
3.1.1 模糊隶属函数	70
3.1.2 对隶属函数的质疑	71
3.1.3 隶属云定义	71
3.1.4 隶属云的数字特征	71
3.1.5 隶属云发生器	72
3.1.6 隶属云发生器的实现技术	72
3.2 云滴与云滴生成算法	72
3.2.1 云滴	72
3.2.2 云滴生成算法	73
3.3 云计算	73
3.3.1 云模型与不确定推理	73
3.3.2 云计算原理	74
3.3.3 云化计算过程	74
3.3.4 云化计算的系统实现	75
3.4 定性规则的云表示	75
3.4.1 二维云模型	75
3.4.2 二维云及多维云生成算法的改进	76
3.4.3 定性规则的云模型表示	76
3.4.4 一条带“或条件”的定性规则的表示	77
3.4.5 一条多重条件的定性规则的表示	77
3.4.6 定性规则的统一表示	77
3.5 云综合评判模型	77
3.5.1 云综合评判	77
3.5.2 应用实例	79
3.6 云决策树	79
3.6.1 决策树方法	79
3.6.2 基于云理论的神经网络映射学习	80
3.6.3 云决策树的生成和应用	80
3.7 定性预测系统的建模	81
3.7.1 二维云算法	81
3.7.2 算法描述及实现机制	81

3.7.3 算法步骤	81
3.8 应用实例	82
3.8.1 三级倒立摆	82
3.8.2 模型与云推理	83
3.8.3 倒立摆的智能控制实验与分析	83
3.8.4 实验分析结果	84
习题	85
第4章 可拓信息处理	86
4.1 可拓学概述	86
4.1.1 可拓学的研究对象、理论框架和方法体系	87
4.1.2 可拓工程思想、工具和方法	88
4.2 可拓集合	92
4.2.1 可拓集合的含义	93
4.2.2 扩展的可拓集合概念	94
4.2.3 可拓集合的应用	96
4.3 集装箱生成量可拓聚类预测	97
4.3.1 集装箱生成量可拓聚类预测的建模机制	97
4.3.2 可拓聚类预测的物元模型	98
4.3.3 集装箱生成量可拓聚类预测的物元模型	99
4.4 可拓故障诊断	101
4.4.1 整体故障分析	102
4.4.2 硬部故障分析	103
4.4.3 软部故障分析	104
4.5 可拓层次分析法	104
4.5.1 层次分析法分析	104
4.5.2 可拓区间数及其运算	105
4.5.3 可拓区间数判断矩阵及其一致性	106
4.5.4 可拓层次分析法	107
4.5.5 实例算法	108
4.6 可拓控制策略	109
4.6.1 可拓控制的提出	109
4.6.2 可拓控制的物元模型	110
4.6.3 可拓控制算法	112
4.7 菱形思维可拓神经网络模型	114
4.7.1 菱形思维方法	114
4.7.2 菱形思维的可拓神经网络模型及表示	114
4.7.3 菱形思维可拓神经网络模型的学习算法	115
4.7.4 菱形思维可拓神经网络的评判机制	117

4.8 应用案例	117
习题	118
第5章 粗集信息处理	119
5.1 粗集理论基础	119
5.1.1 粗集理论的提出	119
5.1.2 等价类	120
5.1.3 知识的约简	120
5.2 粗糙模糊集合	121
5.2.1 粗集与模糊集合分析	121
5.2.2 模糊粗集	121
5.3 粗集神经网络	123
5.3.1 Rough-ANN 结合的特点	123
5.3.2 决策表简化方法	124
5.3.3 粗集神经网络系统	124
5.4 贝叶斯分类器粗集算法	125
5.4.1 简单贝叶斯分类	125
5.4.2 基于粗集的属性约简方法	126
5.4.3 基于粗集的贝叶斯分类器算法	126
5.4.4 试验结果	127
5.5 系统评估粗集方法	128
5.5.1 系统评估粗集方法的特点	128
5.5.2 系统综合评估粗集方法	128
5.5.3 建立评估体系的粗集方法	129
5.5.4 试验验证	129
5.6 文字识别的粗集算法	130
5.6.1 模式识别与粗集方法	130
5.6.2 文字粗集表达与知识简化	130
5.6.3 基于粗集理论方法的文字识别	131
5.7 图像中值滤波的粗集方法	132
5.7.1 基本依据	132
5.7.2 粗集中值滤波	132
5.7.3 试验结论和讨论	133
5.8 灰色粗集模型与故障诊断	135
5.8.1 灰色关联分析方法	135
5.8.2 参数属性分析	135
5.8.3 灰色粗集模型的建立	136
5.8.4 试验结果及分析	137
习题	138

第 6 章 遗传算法	139
6.1 遗传算法基础	139
6.1.1 遗传算法的历史	139
6.1.2 遗传算法的基本原理	140
6.1.3 遗传算法数学基础分析	142
6.2 遗传算法分析	145
6.2.1 遗传算法结构及主要参数	145
6.2.2 基因操作	145
6.2.3 遗传算法参数选择及其对算法收敛性的影响	148
6.2.4 遗传算法的特点	149
6.3 TSP 的遗传算法解	149
6.3.1 问题的描述与分析	150
6.3.2 针对 TSP 的遗传算法算子	151
6.3.3 实例分析	152
6.4 神经网络的遗传学习算法	156
6.4.1 遗传学习算法	157
6.4.2 利用遗传算法辅助设计人工神经网络的权值和域值	157
6.5 协同进化遗传算法	160
6.5.1 协同进化算法	160
6.5.2 协同进化遗传算法介绍	161
6.5.3 协同进化遗传算法的设计	161
6.6 应用实例	162
习题	166
第 7 章 免疫算法	167
7.1 免疫算法的生物学基础	167
7.1.1 免疫系统的形态空间	167
7.1.2 免疫应答	169
7.1.3 多样性	169
7.1.4 克隆选择和扩增	170
7.2 免疫优化算法概述	171
7.2.1 人工免疫系统的定义	171
7.2.2 免疫算法的提出	172
7.2.3 免疫算法中涉及的术语	173
7.2.4 免疫算法的算法思想	173
7.2.5 免疫算法的收敛性	174
7.2.6 免疫算法与免疫系统的对应	175
7.2.7 常见免疫算法	176

7.2.8 免疫算子说明	178
7.3 免疫算法与遗传算法的比较	180
7.3.1 两者关系	180
7.3.2 遗传算法的原理及缺陷	181
7.3.3 免疫算法的原理及优势	181
7.4 免疫优化算法在 VRP 中的应用	184
7.4.1 装卸一体化的物流配送 VRP 描述	185
7.4.2 抗体编码	187
7.4.3 初始抗体的产生	187
7.4.4 抗体亲和力计算	187
7.4.5 产生记忆/抑制细胞	189
7.4.6 选择、交叉、变异	189
7.5 用免疫算法求解 TSP	190
7.5.1 TSP 描述	190
7.5.2 免疫算子的构造方法	190
7.5.3 免疫疫苗选取的具体步骤	190
7.5.4 免疫算法的程序	191
习题	193

第 8 章 蚁群算法 194

8.1 蚁群算法原理	194
8.1.1 蚁群智能	194
8.1.2 基本蚁群算法的机制原理	195
8.1.3 蚁群算法的系统学特征	196
8.2 Ant-Cycle 算法与自适应蚁群算法	198
8.2.1 基本蚁群系统模型	198
8.2.2 Ant-Cycle 算法	199
8.2.3 自适应蚁群算法	200
8.3 遗传算法与蚁群算法的融合	203
8.3.1 GAAA 算法中遗传算法的结构原理	203
8.3.2 GAAA 算法中蚁群算法的设计	204
8.4 组合优化的蚁群算法与连续优化问题的蚁群算法	204
8.4.1 在静态组合优化中的应用	205
8.4.2 在动态组合优化中的应用	206
8.4.3 连续优化问题的蚁群算法	206
8.5 系统辨识的蚁群算法与聚类问题的蚁群算法	208
8.5.1 系统辨识的蚁群算法	208
8.5.2 聚类分析的蚁群算法	211
8.6 函数优化蚁群算法与蚁群神经网络	215

8.6.1	蚁群算法在函数优化问题中的应用	215
8.6.2	蚁群神经网络	217
8.7	免疫算法与蚁群算法的融合	219
8.8	并行蚁群算法	222
8.8.1	并行计算机及其分类	222
8.8.2	并行算法的设计	222
8.8.3	蚁群算法常用的并行策略	223
8.9	蚁群算法的应用案例	224
	习题	226
第9章	量子智能信息处理	227
9.1	量子信息论	227
9.1.1	量子计算	227
9.1.2	量子信息论基础	229
9.1.3	量子信息处理	231
9.1.4	量子加密	232
9.1.5	信息论与量子信息论对比	233
9.2	量子神经计算	234
9.2.1	神经计算回顾	234
9.2.2	量子计算与神经计算的结合	235
9.2.3	量子神经信息处理	235
9.2.4	量子神经计算模型	238
9.3	典型量子神经网络模型	241
9.3.1	ANN 概念的量子类比	241
9.3.2	QNN 的物理实现	241
9.3.3	几种 QNN 模型	242
9.4	量子神经元	244
9.4.1	量子逻辑门	244
9.4.2	量子神经元模型	245
9.4.3	量子神经元学习算法	246
9.4.4	量子逻辑运算特性	247
9.5	量子遗传算法	248
9.5.1	量子遗传算法基础	248
9.5.2	改进量子遗传算法	249
9.5.3	新量子遗传算法	250
9.5.4	分组量子遗传算法	251
9.5.5	量子遗传算法的其他形式	251
9.5.6	量子智能优化的算法模型	253
	习题	253