

智能计算方法及其应用

Intelligent Computing Method and its Application

■ 徐克虎 孔德鹏 黄大山 徐越 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

智能计算方法及其应用

Intelligent Computing Method and its Application

徐克虎 孔德鹏 黄大山 徐 越 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

智能计算方法目前已在逻辑推理、分类决策、全局优化等众多领域得到了广泛应用。本着讲清概念与原理、触及前沿发展、注重学以致用原则,本书分模糊计算、神经计算、进化计算和群智能计算4个单元,系统地介绍了目前常用智能计算方法的概念、原理、模型及其典型应用实例。

本书可作为控制科学与工程、计算机科学、信息科学等专业的研究生及高年级本科生的教材,以及从事智能计算、智能决策等相关研究的高校教师、科研人员和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

智能计算方法及其应用/徐克虎等编著. —北京:国防工业出版社,
2019.7

ISBN 978-7-118-11920-6

I. ①智… II. ①徐… III. ①智能计算机—计算方法
IV. ①TP387

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第125624号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码 100048)

三河市德鑫印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 20½ 字数 374千字

2019年7月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 129.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

前 言

智能计算方法是一类认识、抽象并模拟多种生物行为的科学计算方法，是信息科学、生命科学、认知科学等多学科交叉的产物。它主要基于人们对生物体智能机理和某些自然规律的认识，借鉴仿生学和拟人的思想，采用新型数值计算的方法去模拟和实现人类智能、生物智能、其他社会和自然演化规律。智能计算方法具有自学习、自组织、自适应的特征和简单、通用、鲁棒性强、适于并行处理的优点，可以较好地解决多维空间、非线性、全局寻优、组合优化等复杂问题。

智能计算方法，作为人工智能的一个分支或重要算法工具，对目前生产生活中出现的高维空间、非线性、全局寻优、组合优化等复杂计算问题给出了有效解决途径。与传统计算方法的迭代逼近原理不同，智能计算方法通过概率搜索、模糊推理、泛化逼近等方式获得待求解问题的满意解，具有极强的工程意义和广泛的适用性。通过对生物觅食、繁衍等行为的模拟，利用生物进化的原理获得算法的结果，算法的适应性好、应用性强。目前，对于模糊数据处理、非线性系统建模、组合优化的 NP-hard 问题等，智能计算方法展现了其极强的适应能力，一般情况下均能够获得满意解。对于解决传统方法难以建模的复杂系统问题，其优势更为明显。例如：通过模糊计算和模糊推理可以解决不确定信息的融合、推理等问题；利用神经网络可以模拟非线性系统，解决非线性系统建模困难的问题等。智能计算方法现已广泛运用于电子、金融、计算机、自动化、管理、军事等诸多方面。

本书内容是编著者在广泛吸收前人研究成果的基础上，结合自己在教学、科研过程中对智能计算方法进行研究与应用的心得体会而形成的。在此谨向呈现这些文献资料的专家、学者表示诚挚的感谢。本书曾以讲义的形式，在原装甲兵工程学院控制工程系控制科学与工程专业硕士研究生的“智能计算”课程教学中进行了多轮次使用，教学效果良好。

本书共分 4 篇 17 章，系统地介绍了常用智能计算方法，给出了算法的基本原理、算法流程、实现程序等。本书涉及的主要算法有：模糊推理、模糊聚类、BP 神经网络、RBF 神经网络、卷积神经网络、遗传算法、人工免疫算法、差分进化算法、粒子群算法、蚁群算法和人工蜂群算法等，涵盖了目前科学研究和实际应用涉及最广的智能算法。

本书的主要特点如下:

(1) 基础性与创新性结合。本书既详细阐述智能计算方法形成的生物机理与基本的概念,使初学者能够轻松入门,又有重点地阐述基本算法模型存在的不足与改进方法,使读者能够得到创新性的启迪。

(2) 理论性与实践性并重。本书既详细阐述智能计算方法的基本原理、算法模型与实现思路、算法步骤,使读者能对算法理论有系统性认识,又注重对典型实例的应用解析,使读者能够得到学以致用用的启迪。

本书可作为研究生和高年级本科生的教材使用,也可作为从事人工智能、智能控制、运筹学和管理科学等研究的高校教师、科研人员和工程技术人员的参考用书。

本书的第1~7章和第9章由徐克虎编著,第10~13章由黄大山、徐越编著,第8章和第14~17章由孔德鹏编著,全书实例中的MATLAB程序由孔德鹏编写和测试,全书由徐克虎负责统稿和审校。本书在编著过程中,得到了作者所在单位领导和同事的大力支持与帮助,国防工业出版社编辑为全书的编辑出版付出了辛勤劳动,在此一并表示衷心的感谢!

由于编著者水平有限,疏漏、错误之处在所难免,敬请各位专家和广大读者批评指正。

编著者

2019年1月于北京

目 录

第0章 绪论	1
0.1 智能计算方法	1
0.2 智能计算方法产生与发展	1
0.2.1 模糊计算的产生与发展	2
0.2.2 神经计算的产生与发展	3
0.2.3 进化计算的产生与发展	4
0.2.4 群智能计算的产生与发展	5
0.3 智能计算方法分类	6
习题0	7

第1篇 模糊计算

第1章 模糊计算数学基础	12
1.1 模糊集合	12
1.1.1 模糊集合定义	12
1.1.2 模糊集合的表示方式	13
1.1.3 隶属函数	13
1.1.4 模糊集合的基本运算	16
1.1.5 模糊集合与经典集合的联系	17
1.2 模糊关系	19
1.2.1 模糊关系	19
1.2.2 模糊关系的合成	21
1.2.3 模糊变换	23
1.3 模糊逻辑	23
1.3.1 模糊逻辑运算	23
1.3.2 模糊逻辑算子	24
习题1	25
第2章 模糊推理与模糊系统	26
2.1 模糊语言	26

2.1.1	模糊语言	26
2.1.2	模糊语言算子	27
2.2	模糊规则	27
2.3	模糊推理	28
2.3.1	Mamdani 模糊推理法	28
2.3.2	Larsen 模糊推理法	33
2.3.3	Zadeh 模糊推理法	36
2.3.4	Takagi-Sugeno 模糊推理法	36
2.4	模糊系统	37
2.4.1	模糊系统的组成结构	38
2.4.2	模糊系统的组成单元	38
2.5	模糊控制系统	39
2.5.1	模糊控制的基本原理	40
2.5.2	模糊控制器设计	41
2.5.3	模糊控制器设计实例	43
	习题 2	50
第 3 章	模糊聚类分析	51
3.1	模糊聚类分析的一般步骤	51
3.2	最佳分类阈值 λ 的确定	59
3.3	模糊聚类分析方法的应用实例	60
	习题 3	67
第 4 章	模糊计算的发展与展望	68

第 2 篇 神经计算

第 5 章	人工神经网络基础	73
5.1	人工神经网络生物学基础	73
5.2	人工神经元基本结构与数学模型	74
5.2.1	人工神经元基本结构	74
5.2.2	人工神经元数学模型	75
5.3	人工神经网络基本结构、学习方式与基本特性	76
5.3.1	人工神经网络基本结构	76
5.3.2	人工神经网络基本学习方式	78
5.3.3	人工神经网络基本特性	81
5.4	人工神经网络设计	82

习题5	84
第6章 BP神经网络	85
6.1 BP神经网络基本概念	85
6.2 BP神经网络基本模型与学习算法	85
6.2.1 BP神经网络基本模型	85
6.2.2 BP神经网络学习算法	86
6.2.3 BP神经网络特点	89
6.3 BP神经网络的MATLAB实现	90
6.4 应用实例——利用BP神经网络进行预测	94
6.4.1 MATLAB程序实现	95
6.4.2 nntool神经网络工具箱的使用	96
6.5 应用实例——利用BP神经网络进行鸢尾花分类	99
6.5.1 iris数据集简介	99
6.5.2 基于BP神经网络的鸢尾花分类	100
6.6 BP神经网络算法的改进	104
6.6.1 附加动量法	104
6.6.2 自适应学习速率	105
6.6.3 动量-自适应学习速率调整算法	105
6.6.4 其他需要探索解决的问题	105
习题6	106
第7章 径向基函数神经网络	107
7.1 RBF神经网络的基本概念	107
7.2 径向基函数神经网络模型	107
7.3 RBF神经网络设计	110
7.3.1 隐层单元个数的确定	110
7.3.2 基函数中心 c_p 的确定	111
7.3.3 基函数宽度(扩展常数)的确定	112
7.3.4 权系数 w 的确定	112
7.4 RBF神经网络MATLAB实现	112
7.5 应用实例——利用RBF神经网络解决分类问题	116
7.6 应用实例——利用RBF神经网络的目标威胁评估	119
7.6.1 基于RBF神经网络的函数拟合	120
7.6.2 目标威胁评估	121
7.7 RBF神经网络的改进	125

7.7.1 RBF 神经网络的不足	125
7.7.2 RBF 神经网络改进算法	125
习题 7	127
第 8 章 卷积神经网络	128
8.1 卷积神经网络模型	128
8.2 卷积神经网络主要特征	129
8.2.1 局部感知	130
8.2.2 参数共享	130
8.2.3 多卷积核	131
8.2.4 池化	132
8.3 卷积神经网络的数学描述	133
8.3.1 卷积运算	133
8.3.2 激活运算	134
8.3.3 池化运算	136
8.3.4 全连接计算	137
8.3.5 Softmax 回归	137
8.3.6 反向传播算法	140
8.4 应用实例——手写数字识别	141
8.4.1 问题描述	141
8.4.2 基于 LeNet-5 网络结构的数字识别方法	141
8.4.3 MATLAB 程序实现	142
8.5 应用实例——基于 GoogleNet 的图片分类	146
8.5.1 基于 GoogleNet 进行图片分类	146
8.5.2 基于 GoogleNet 迁移学习的图片分类	149
8.6 几种改进的卷积神经网络	154
习题 8	155
第 9 章 神经计算的发展与展望	156

第 3 篇 进化计算

第 10 章 遗传算法	161
10.1 遗传算法的生物学基础	161
10.2 遗传算法的基本理论	162
10.2.1 遗传算法的基本原理	162
10.2.2 全局优化问题	162

10.2.3 遗传算法的实现流程	162
10.2.4 遗传算法基本要素	163
10.3 遗传算法的 MATLAB 实现	170
10.4 应用实例——利用遗传算法求解规划问题	176
10.5 应用实例——利用遗传算法求解物流配送路径优化问题	177
10.5.1 物流配送路径优化问题	177
10.5.2 基于 GA 进行求解	179
10.6 遗传算法特点及其改进算法	186
习题 10	190
第 11 章 人工免疫算法	191
11.1 人工免疫算法的生物学机理	191
11.1.1 生物免疫系统的基本概念	191
11.1.2 生物免疫系统的组成与功能	192
11.2 人工免疫算法的基本概念	193
11.3 人工免疫算法的基本原理	195
11.3.1 人工免疫算法的算子	195
11.3.2 Markov 链描述	198
11.4 人工免疫算法的实现步骤与计算流程	199
11.4.1 基本免疫算法的实现步骤与计算流程	199
11.4.2 疫苗免疫算法的实现步骤与计算流程	200
11.4.3 克隆免疫算法的实现步骤与计算流程	201
11.5 人工免疫算法的 MATLAB 实现	202
11.6 应用实例——群决策问题的权重确定	205
11.7 应用实例——电梯交通动态分区优化	210
11.7.1 电梯的动态分区模型	210
11.7.2 基于人工免疫算法的电梯动态分区模型求解	212
11.8 人工免疫算法的特点与发展方向	217
11.8.1 人工免疫算法的特点	217
11.8.2 人工免疫算法的发展方向	218
习题 11	219
第 12 章 差分进化算法	220
12.1 差分进化算法的基本概念	220
12.2 差分进化算法的基本理论	220
12.2.1 差分进化算法基本原理	220

12.2.2	基本差分进化算法的流程图	221
12.2.3	差分进化算子	222
12.2.4	差分进化算法控制参数	224
12.3	差分进化算法的 MATLAB 实现	224
12.4	应用实例——电力系统负荷分配	227
12.4.1	目标函数	227
12.4.2	约束条件	228
12.4.3	利用差分进化算法进行求解	228
12.5	应用实例——求解车间调度问题 (JSP)	234
12.5.1	车间调度问题	234
12.5.2	基于 DE 的车间调度问题求解	235
12.6	差分进化算法的改进	240
12.6.1	对变异操作算子的改进	240
12.6.2	对交叉操作算子的改进	240
习题 12		241
第 13 章	进化计算的发展与展望	242

第 4 篇 群智能计算

第 14 章	粒子群优化算法	247
14.1	粒子群优化算法的基本概念	247
14.2	粒子群优化算法的基本原理	248
14.3	MATLAB 程序实现	249
14.4	应用实例——无线传感器网络节点定位	252
14.5	应用实例——求解 PID 控制器设计问题	257
14.6	粒子群优化算法的改进	262
14.6.1	参数改进	262
14.6.2	结构改进 - 双群协同粒子群优化算法	263
习题 14		265
第 15 章	蚁群优化算法	266
15.1	蚁群优化算法的基本概念	266
15.2	蚁群优化算法的基本原理	267
15.3	应用实例——求解 TSP 问题	269
15.3.1	TSP 问题概述	269
15.3.2	求解 TSP 问题的蚁群优化算法流程	270

15.3.3	MATLAB 程序	271
15.4	应用实例——连续无约束优化	274
15.5	蚁群优化算法的改进	278
15.5.1	基于 2-opt 局部搜索策略改进蚁群优化算法	278
15.5.2	混沌扰动的模拟退火算法	279
习题 15		280
第 16 章	人工蜂群算法	281
16.1	人工蜂群算法的基本概念	281
16.2	人工蜂群算法的基本原理	282
16.3	应用实例——求解武器目标分配问题	285
16.3.1	武器目标分配模型	285
16.3.2	利用人工蜂群算法求解步骤	285
16.3.3	求解问题	286
16.3.4	求解结果及程序	286
16.4	应用实例——求解 K-means 聚类问题	291
16.4.1	K-means 聚类问题描述	292
16.4.2	聚类问题的数学模型	292
16.4.3	K-means 算法描述	293
16.4.4	聚类实例	293
16.4.5	MATLAB 程序	294
16.5	人工蜂群算法的改进	299
16.5.1	几种改进策略	299
16.5.2	几种改进的人工蜂群算法	301
习题 16		304
第 17 章	群智能计算的发展与展望	305
附录	测试函数	308
参考文献		310

绪 论

0.1 智能计算方法

智能计算方法是在模糊数学、人工神经网络、进化算法三者发展相对成熟的基础上,形成的一类有别于传统计算方法的计算技术的统称。但究竟什么是智能计算方法,至今未见统一且简单明了的定义。一般地,人们把具备信息感知、与环境交互、在线学习、记忆、逻辑推理、寻优进化等具有类似于灵长类动物大脑思维要素、思维方式、思维特点的算法,称为智能化计算方法,简称智能计算(Intelligence Computation, IC)。也有人认为,智能计算是以模型(数学模型、计算模型)为基础,以并行、分布、仿生等计算方法为特征,含数据、算法和实现的信息系统。尽管现有的有关智能计算方法的描述不尽相同,但在这些定义的描述中都反映出了一个共同的特点:智能计算的本质就是通过模拟生物和自然智能来求解复杂问题的方法和技术。

目前,智能计算方法不仅仅包含模糊计算、神经计算、进化计算 3 类算法,人们通常也把群智能优化等诸多新兴的模拟群居性生物相互协作行为的算法称作智能计算方法,由此形成了一个内容丰富的智能计算方法体系。

智能计算,是当代信息科学、生命科学、认知科学等多门新兴学科与数学、物理学等古老学科相互交叉演进的产物。智能计算方法涉及神经网络、进化算法、模糊逻辑与推理、群智能计算等诸多算法领域。智能计算的发展途径及其相关研究方法,在一定程度上反映了当代科学技术多学科交叉与集成的发展方向和发展趋势。

0.2 智能计算方法产生与发展

从人类发明计数方法时起,计算方法就应运而生了。从早期的掰手指计数发展至今,已经产生了不计其数的计算方法,如早期的序数形成过程、数字之

间的四则运算等；近代的数组之间函数关系表示、函数微积分运算、数域与空间的拓展、随机与模糊现象的描述等；现代的利用计算机求解的数值计算方法、数值分析等；当前新兴的云计算、大数据方法等，都是在某些特定时期人们用于分析问题、解决问题的计算方法。近年来，受生物思考方式、运动行为等的启发而发展起来的人工神经网络、群智能优化等计算方法，更是把计算方法推到了一个前所未有的新高度——智能计算方法。

相对于传统计算方法，智能计算方法是一种诞生不久、正在不断完善、快速成长、充满应用活力的新兴算法。

长期以来，人们解决许多实际问题的一般思路是：分析问题→建立模型→设计模型解算方法→编写与运行计算机程序→得到问题的解。按照上述解决问题的方法思路，即使是同一类问题，不同的具体描述形式也会得到不同的表达模型，相应地，也就会有不同的模型解算方法及不同的程序设计与实现过程，这种“一对一”的实际问题解决方法，往往具有高度的复杂性，问题解决者需具备很强的专业背景知识才能得以胜任。另外，对于一些很难用一个具体模型来表述的实际问题，诸如自主行驶车辆的实时路径选择与速度调整、人脸与语音识别等许多涉及联想与经验的复杂问题，如果仍然按照这种思路去解决，则会遇到几乎不可逾越的障碍。然而，人们通过对生物或者其集群行为的建模发现，有时仅仅是简单的行为描述与模仿，便可以解决用传统“精确模型”看似不可能解决的复杂问题，并且一种模型可以解决一类或者多类具有不同工程或社会应用背景的相似问题，大大提高了问题解算方法的通用性，这就是“智能计算”的神奇之处。

智能计算方法，有时也称为“智能优化算法”“智能算法”或“计算智能”等。它是人们为了解决计算机智能化、复杂非线性问题求解等现实问题，在了解、认识和总结生物智能（Biological Intelligence, BI）的基础上发展起来的，是人工智能（Artificial Intelligence, AI）的一个重要分支。当然，也有人认为，智能计算方法高于人工智能并包含人工智能。

下面，从4个主要分支的角度出发，来一览智能计算方法的产生与发展历程。

0.2.1 模糊计算的产生与发展

模糊计算是以模糊数学的一系列理论为基础发展起来的一类计算方法。美国加州大学 L. A. Zadeh 博士于 1965 年在 *Information and Control* 期刊上发表了一篇开创性论文《模糊集合论》（*Fuzzy Sets*），标志着模糊数学的诞生。论文中所提出的隶属函数，可以描述和表达现象差异的中间过渡——事物模糊性，突破了经典集合论中“非此即彼”的绝对关系。1975 年，L. A. Zadeh 教授发表的长篇连载论著《模糊集合、语言变量及模糊逻辑》中提出了语言变量的

概念,并探索了它的含义,为模糊规则和模糊推理奠定了理论基础。

模糊计算为人们提供了一种处理不确定性和不精确性问题的新方法,是描述人脑思维处理模糊信息的有力工具,为研制具有智能化的模糊计算机奠定了理论基础。1986年,日本山川烈博士首次试制成功模糊推理机,它的推理速度是1000万次/s。我国于1976年开始了对模糊数学的研究,1988年,我国汪培庄教授指导的几位博士生也研制成功一台模糊推理机——分立元件样机,它的推理速度达1500万次/s。

目前,模糊计算的理论体系还处于进一步完善的过程中,如近年来发展起来的直觉模糊集、区间值模糊集、Vague集等理论,均是对模糊集理论的扩充和发展,模糊理论与神经网络、进化算法等的结合,更是催生了模糊信息处理技术的出现。从早期的模糊控制到目前的智能系统,模糊计算的深入研究和现实应用正体现出应有的活力和光明前景。

0.2.2 神经计算的产生与发展

最早的智能计算方法,可谓是人神经网络,而人工神经网络的研究又源于脑神经元学说。

19世纪初,意大利解剖学家 C. Golgi 与西班牙科学家 S. R. Cajal 通过系统地观察和大量实验,确认了脑神经是由许多互相分开的、边界明确的细胞——神经元组成。1943年,心理学家 W. McCulloch 和数理逻辑学家 W. Pitts 建立的具有逻辑演算功能的人工神经元数理模型(MP模型),为人工神经网络结构研究奠定了坚实的基础。1949年,心理学家 D. O. Hebb 提出了突触联系强度可变的假设,1961年,又提出了 Hebb 学习规则,认为学习的过程最终发生在神经元之间的突触部位,突触的联系强度随着突触前后神经元的活动而变化,这又为神经网络的学习算法研究提供了强有力的理论支撑。

20世纪60年代,人工神经网络得到了进一步发展,更加完善、更加有效的神经网络模型被提出,其中包括感知器和自适应线性元件等。M. Minsky 等仔细分析了以感知器为代表的神经网络系统的功能及局限后,于1969年出版了 *Perceptron* 一书,指出感知器不能解决高阶谓词问题。他们的论点极大地影响和削减了学者对神经网络的研究热情,加之当时串行计算机和人工智能所取得的一些成就,掩盖了发展新型计算机和人工智能新途径的必要性和迫切性,使得此阶段学者对人工神经网络的研究处于低潮。但在此期间,仍有一些学者持续致力于人工神经网络研究,并在深入研究神经网络数学理论的基础上,提出了适应谐振理论(ART网)、自组织映射、认知机网络等,这些研究成果为神经网络体系的后续发展奠定了基础。

1982年,美国加州工学院物理学家 J. J. Hopfield 提出了 Hopfield 神经网络

模型，引入了“计算能量”概念，给出了网络稳定性判断的数学推导。1984年，他又提出了连续时间 Hopfield 神经网络模型，为神经计算机的研究做了开拓性的工作，开创了神经网络用于联想记忆和优化计算的新途径，有力地推动了神经网络的研究。1985年，又有学者提出了玻耳兹曼模型，在学习采用统计热力学模拟退火技术，保证整个系统趋于全局稳定点。1986年，由 Rumelhart 和 McClelland 为首的科学家小组提出了一种误差逆向传播的多层前馈网络，即 BP (Error Back Propagation Network) 神经网络，它是最为成功且是目前应用最为广泛的神经网络模型之一。该网络的学习过程由信号（输入模式）的正向传播与误差（期望输出与实际输出之差）的反向传播两个过程组成。BP 网络能学习和存储大量的输入-输出模式映射关系，而无需事前揭示描述这种映射关系的数学方程。它的学习规则是使用梯度最速下降法，通过反向传播来不断调整网络的权值和阈值，使网络的误差平方和最小。同年，有学者通过对认知微观结构的研究，提出了神经网络并行分布处理理论。美国国会通过决议将 1990 年 1 月 5 日开始的 10 年定为“脑的十年”，国际研究组织号召它的成员国将“脑的十年”变为全球行为。至此，人工神经网络的研究才又受到各个发达国家的重视。从 1991 年至今，人工神经网络的研究进入再认识阶段和实际应用期。我国对神经网络的研究开始于 1988 年前后，在基础与应用领域都开展了相应的研究工作。1989 年在广州召开了全国第一届神经网络——信号处理会议，1991 年在南京召开了全国第二届神经网络——信号处理会议和中国第一届神经网络学术大会，1992 年在北京召开了国际神经网络学会和 IEEE 神经网络委员会的联合学术会议，2005 年在重庆召开神经网络国际会议。至此，我国的神经网络研究在国际上也已占有了一席之地。

目前，国内外学者共构建了多达百种的人工神经网络，其应用已遍及几乎各科学研究领域。特别是以卷积神经网络为代表的具有深度学习功能的深层神经网络，在当前基于大数据的智能化时代，更是取得了举世瞩目的巨大成就，更把人们对人工神经网络的深入研究和应用热情推进到了前所未有的新高度。

0.2.3 进化计算的产生与发展

进化计算的基本思想是模拟和利用生物进化原则求解实际问题。达尔文的进化论认为，生物在繁殖过程中产生变异，从而形成新物种，不同物种在有限的资源环境中会产生生存竞争，适者生存，不适者淘汰。自然界生物就是按照这种规则进化的。根据这一理论，1948 年，英国数学家 A. Turing 率先提出了进化搜索的思想。20 世纪 50 年代后期，一些生物学家在研究如何利用计算机模拟生物遗传过程时，产生了遗传算法 (Genetic Algorithms, GA) 的基本思想，并由美国密执安大学的 J. H. Holland 教授于 1962 年首先系统地提出。1965

年,德国数学家 I. Rechenberg 和 H. P. Schwefel 提出了只有单个个体参与进化,且仅有一种进化操作的进化策略 (Evolution Strategies, ES) 算法。同年,美国学者 L. J. Fogel 提出了一种具有多个个体参与进化,仅有一种进化操作——变异的进化规划 (Evolutionary Programming, EP)。1975 年, J. H. Holland 教授在专著《自然和人工系统的适应性》(Adaptation in Natural and Artificial Systems) 中,全面介绍了具有多个个体参与进化,且具有选择、交叉、变异 3 种操作的遗传算法。1989 年,美国斯坦福大学的 J. R. Koza 提出了遗传规划 (Genetic Programming, GP), 也被称作遗传程序设计的新方法。至此,形成了进化计算方法中 4 个基本研究方向。

到了 20 世纪 90 年代,进化计算作为一个学科被人们所接受。至此,进化计算方法的理论与应用研究,特别是与其他智能算法相结合的拓展性研究及其应用研究,得到了越来越多机构和学者的重视,各种改进方法不断出现,应用领域不断扩大。目前,已经成为炙手可热的人工智能领域中的重要研究方向之一。

0.2.4 群智能计算的产生与发展

群智能计算是通过抽象模仿生物群体活动行为演化出来的一类计算方法。群智能计算方法的原理特点及运行方式与进化算法类似,可依据一定的搜索寻优策略来求解实际问题。经过近 30 年的发展,产生了多种理论完善、效果显著的群智能计算方法,如粒子群算法、蚁群算法、人工蜂群算法、鱼群算法、细菌觅食算法等。其中,最具代表性的是蚁群算法和粒子群算法。

通过对蚂蚁群体觅食习性——通信和协调机制——的研究,1991 年,意大利学者 M. Dorigo 和 V. Maniezzo 等提出了蚁群优化 (Ant Colony Optimization, ACO) 算法。其主要特点是可以通过正反馈、分布式协作来寻找最优路径。基于对鸟群社会行为的模仿,1995 年,美国的心理学家 J. Kenney 和电气工程师 R. C. Eberhart 提出了粒子群优化 (Particle Swarm Optimization, PSO) 算法。受到蜂群采蜜行为的启发,2005 年, V. Tereshko 和 A. Loengarov 提出蜂群觅食行为模型。2005 年,土耳其埃尔吉耶斯大学的 Karaboga 小组成功地将蜜蜂采蜜模型应用于函数的数值优化,并给出了比较系统的人工蜂群 (Artificial Bee Colony, ABC) 算法。

目前,群智能计算还是一个非常新颖、非常前沿、最具活力的智能计算方法研究方向,各种新的理念、新的思想层出不穷,新的群智能算法还在不断被提出,如蛙跳算法、猫群算法、狼群算法等。群智能算法中的一部分已经被用来求解实际问题,并且也能够取得较好的效果,但其中另一部分算法还有待进一步探讨完善,更需要通过大量的实际问题来检验其应用价值和前景。