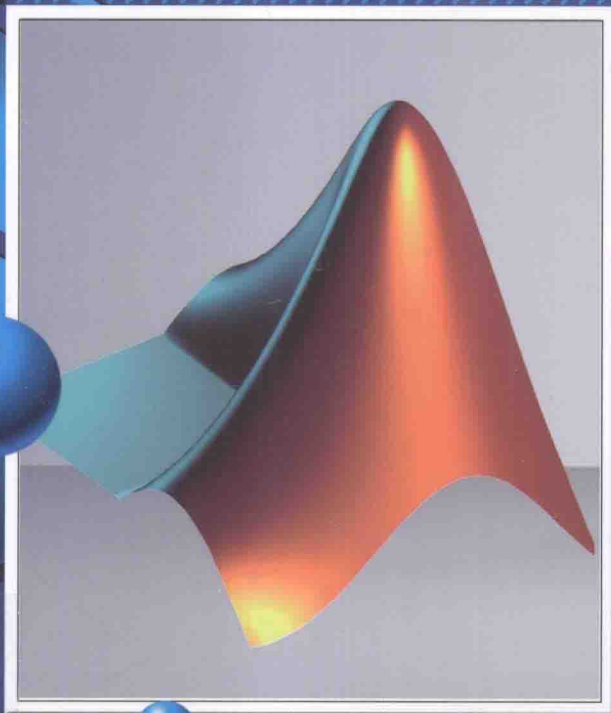




IT工程师宝典

# 智能优化算法及其 MATLAB实例

包子阳 余继周 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>



IT 工程师宝典

# 智能优化算法 及其 MATLAB 实例

包子阳 余继周 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

## 内 容 简 介

智能优化算法在解决大空间、非线性、全局寻优、组合优化等复杂问题方面具有独特的优势，因而得到了国内外学者的广泛关注，并在信号处理、图像处理、生产调度、任务分配、模式识别、自动控制和机械设计等众多领域得到了成功应用。本书介绍了 8 种主要智能优化算法——遗传算法、差分进化算法、免疫算法、蚁群算法、粒子群算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法和神经网络算法的来源、原理、算法流程和关键参数说明，并给出了具体的 MATLAB 仿真实例。对于要用这些算法工具来解决具体问题的理论研究和工程技术人员，通过本书可以节省大量查询资料和编写程序的时间，通过仿真实例可以更深入地理解、快速地掌握这些算法。

读者对象：电子、通信、计算机、自动化、机器人、经济学和管理学等学科以及信号处理、图像处理、生产调度、任务分配、模式识别、自动控制和机械设计等领域，从事智能优化算法的理论研究和工程应用的广大科研人员以及高等院校高年级本科生、研究生。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目（CIP）数据

智能优化算法及其 MATLAB 实例 / 包子阳，余继周编著. —北京：电子工业出版社，2016.8  
（IT 工程师宝典）

ISBN 978-7-121-29616-1

I. ①智… II. ①包… ②余… III. ①计算机算法—最优化算法—Matlab 软件 IV. ①TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 182103 号

责任编辑：张来盛（zhangls@phei.com.cn）

印 刷：北京中新伟业印刷有限公司

装 订：北京中新伟业印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×980 1/16 印张：12.75 字数：280 千字

版 次：2016 年 8 月第 1 版

印 次：2016 年 8 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系电话：（010）88254888 / 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：（010）88254467；zhangls@phei.com.cn。

# 前 言

近年来,随着计算机技术的快速发展,为了在一定程度上解决大空间、非线性、全局寻优、组合优化等复杂问题,不少智能优化方法不断涌现,例如:进化类算法、群智能算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法和神经网络算法等。因其独特的优点和机制,这些算法得到了国内外学者的广泛关注,掀起了研究热潮,在信号处理、图像处理、生产调度、任务分配、模式识别、自动控制和机械设计等众多领域得到了成功应用。

本书介绍了8种主要智能优化算法的来源、原理、算法流程和关键参数说明,并给出了具体MATLAB仿真实例,包括:遗传算法、差分进化算法、免疫算法、蚁群算法、粒子群算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法和神经网络算法。全书分为9章:第1章为概述,综合介绍智能优化算法的功能和应用以及主要算法的来源、原理和特点;第2~9章对上述8种智能优化算法分别进行介绍,包括其算法简介、算法理论、算法主要种类、算法流程和关键参数说明,并给出MATLAB仿真实例,其中有的章节还介绍算法的改进方向和实现方法。

智能优化算法可应用于电子、通信、计算机、自动化、机器人、经济学和管理学等众多学科;对于要用这些算法工具来解决具体问题的理论研究和工程技术人员来说,通过本书可以节省大量查询资料和编写程序的时间,通过MATLAB仿真实例可以更深入地理解、快速地掌握这些算法。由于每种算法的优化目标可以很多,对应的修正算法也很多,感兴趣的读者可以在此基础上进行深入研究。

本书的第1~4章和第7~9章由包子阳编写,第5章和第6章由余继周编写,余继周同时负责对全书的审查和校正。在本书编写过程中,得到了北京无线电测量研究所科技委安洁处长、总体部刘劼书记,以及《航天雷达》郭珊珊编辑的支持和帮助,电子工业出版社张来盛编辑为本书的编辑出版付出了辛勤劳动,特此表示感谢。

由于编著者水平有限,书中难免有各种不足之处,诚挚希望各位专家和读者批评指正。  
联系方式: [bao\\_ziyang@163.com](mailto:bao_ziyang@163.com)。

编著者  
2016年5月

# 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 进化类算法	2
1.2 群智能算法	3
1.3 模拟退火算法	5
1.4 禁忌搜索算法	5
1.5 神经网络算法	6
参考文献	6
第 2 章 遗传算法	9
2.1 遗传算法简介	9
2.2 遗传算法理论	10
2.2.1 遗传算法的生物学基础	10
2.2.2 遗传算法的基本概念	11
2.2.3 标准遗传算法	14
2.2.4 遗传算法的特点	14
2.2.5 遗传算法的改进方向	15
2.3 遗传算法流程	16
2.4 关键参数说明	17
2.5 MATLAB 仿真实例	18
参考文献	30
第 3 章 差分进化算法	31
3.1 引言	31
3.2 差分进化算法理论	32
3.2.1 差分进化算法原理	32
3.2.2 差分进化算法的特点	32
3.3 差分进化算法种类	33
3.3.1 基本差分进化算法	33
3.3.2 差分进化算法的其他形式	35

3.3.3 改进的差分进化算法	35
3.4 差分进化算法流程	36
3.5 关键参数的说明	37
3.6 MATLAB 仿真实例	39
参考文献	50
<b>第4章 免疫算法</b>	<b>53</b>
4.1 引言	53
4.2 免疫算法理论	54
4.2.1 生物免疫系统	54
4.2.2 免疫算法概念	56
4.2.3 免疫算法的特点	57
4.2.4 免疫算法算子	57
4.3 免疫算法种类	61
4.3.1 克隆选择算法	61
4.3.2 免疫遗传算法	61
4.3.3 反向选择算法	62
4.3.4 疫苗免疫算法	62
4.4 免疫算法流程	62
4.5 关键参数说明	64
4.6 MATLAB 仿真实例	65
参考文献	78
<b>第5章 蚁群算法</b>	<b>81</b>
5.1 引言	81
5.2 蚁群算法理论	82
5.2.1 真实蚁群的觅食过程	82
5.2.2 人工蚁群的优化过程	84
5.2.3 真实蚂蚁与人工蚂蚁的异同	84
5.2.4 蚁群算法的特点	85
5.3 基本蚁群算法及其流程	86
5.4 改进的蚁群算法	88
5.4.1 精英蚂蚁系统	89

5.4.2	最大最小蚂蚁系统	89
5.4.3	基于排序的蚁群算法	89
5.4.4	自适应蚁群算法	90
5.5	关键参数说明	91
5.6	MATLAB 仿真实例	93
	参考文献	101
<b>第 6 章</b>	<b>粒子群算法</b>	<b>103</b>
6.1	引言	103
6.2	粒子群算法理论	104
6.2.1	粒子群算法描述	104
6.2.2	粒子群算法建模	105
6.2.3	粒子群算法的特点	105
6.3	粒子群算法种类	106
6.3.1	基本粒子群算法	106
6.3.2	标准粒子群算法	106
6.3.3	压缩因子粒子群算法	107
6.3.4	离散粒子群算法	108
6.4	粒子群算法流程	108
6.5	关键参数说明	109
6.6	MATLAB 仿真实例	112
	参考文献	122
<b>第 7 章</b>	<b>模拟退火算法</b>	<b>125</b>
7.1	模拟退火算法简介	125
7.2	模拟退火算法理论	126
7.2.1	物理退火过程	126
7.2.2	模拟退火原理	127
7.2.3	模拟退火算法思想	128
7.2.4	模拟退火算法的特点	128
7.2.5	模拟退火算法的改进方向	129
7.3	模拟退火算法流程	130
7.4	关键参数说明	131
7.5	MATLAB 仿真实例	132
	参考文献	143

<b>第 8 章 禁忌搜索算法</b> .....	145
8.1 禁忌搜索算法简介 .....	145
8.2 禁忌搜索算法理论 .....	146
8.2.1 局部邻域搜索 .....	146
8.2.2 禁忌搜索 .....	147
8.2.3 禁忌搜索算法的特点 .....	147
8.2.4 禁忌搜索算法的改进方向 .....	148
8.3 禁忌搜索算法流程 .....	148
8.4 关键参数说明 .....	150
8.5 MATLAB 仿真实例 .....	153
参考文献 .....	164
<b>第 9 章 神经网络算法</b> .....	165
9.1 神经网络算法简介 .....	165
9.2 神经网络算法理论 .....	166
9.2.1 人工神经元模型 .....	166
9.2.2 常用激活函数 .....	167
9.2.3 神经网络模型 .....	168
9.2.4 神经网络工作方式 .....	168
9.2.5 神经网络算法的特点 .....	169
9.3 BP 神经网络算法 .....	170
9.4 神经网络算法实现 .....	173
9.4.1 数据预处理 .....	173
9.4.2 神经网络实现函数 .....	174
9.5 MATLAB 仿真实例 .....	177
参考文献 .....	185
<b>附录 A MATLAB 常用命令及函数</b> .....	187



# 第 1 章

## 概 述

---

优化问题是指在满足一定条件下，在众多方案或参数值中寻找最优方案或参数值，以使得某个或多个功能指标达到最优，或使系统的某些性能指标达到最大值或最小值。优化问题广泛地存在于信号处理、图像处理、生产调度、任务分配、模式识别、自动控制和机械设计等众多领域<sup>[1]</sup>。优化方法是一种以数学为基础，用于求解各种优化问题的应用技术。各种优化方法在上述领域得到了广泛应用，并且已经产生了巨大的经济效益和社会效益。实践证明，通过优化方法，能够提高系统效率，降低能耗，合理地利用资源，并且随着处理对象规模的增加，这种效果也会更加明显<sup>[2]</sup>。

在电子、通信、计算机、自动化、机器人、经济学和管理学等众多学科中，不断地出现了许多复杂的组合优化问题。面对这些大型的优化问题，传统的优化方法（如牛顿法、单纯形法等）需要遍历整个搜索空间，无法在短时间内完成搜索，且容易产生搜索的“组合爆炸”<sup>[1]</sup>。例如，许多工程优化问题，往往需要在复杂而庞大的搜索空间中寻找最优解或者准最优解。鉴于实际工程问题的复杂性、非线性、约束性以及建模困难等诸多特点，寻求高效的优化算法已成为相关学科的主要研究内容之一。

受到人类智能、生物群体社会性或自然现象规律的启发，人们发明了很多智能优化算法来解决上述复杂优化问题，主要包括：模仿自然界生物进化机制的遗传算法；通过群体内个体间的合作与竞争来优化搜索的差分进化算法；模拟生物免疫系统学习和认知功能的免疫算法；模拟蚂蚁集体寻径行为的蚁群算法；模拟鸟群和鱼群群体行为的粒子群算法；源于固体物质退火过程的模拟退火算法；模

拟人类智力记忆过程的禁忌搜索算法；模拟动物神经网络行为特征的神经网络算法；等等。这些算法有个共同点，即都是通过模拟或揭示某些自然界的现象和过程或生物群体的智能行为而得到发展；在优化领域称它们为智能优化算法，它们具有简单、通用、便于并行处理等特点<sup>[2]</sup>。

## 1.1 进化类算法

自然界的生物体在遗传、选择和变异等一系列作用下，优胜劣汰，不断地由低级向高级进化和发展，人们将这种“适者生存”的进化规律的实质加以模式化而构成一种优化算法，即进化计算。进化计算是一系列的搜索技术，包括遗传算法、进化规划、进化策略等，它们在函数优化、模式识别、机器学习、神经网络训练、智能控制等众多领域都有着广泛的应用。其中，遗传算法是进化计算中具有普遍影响的模拟进化优化算法。

为了求解切比雪夫多项式问题，Rainer Storn 和 Kenneth Price 根据这种进化思想提出了差分进化算法。它是一种采用实数编码、在连续空间中进行随机搜索、基于群体迭代的新兴进化算法，具有结构简单、性能高效的特点。而免疫算法是模仿生物免疫机制，结合基因的进化机理，人工地构造出的一种新型智能搜索算法。该算法具有一般免疫系统的特征，它采用群体搜索策略，通过迭代计算，最终以较大的概率得到问题的最优解，相当于进化算法的变种算法。

### 遗传算法

遗传算法（Genetic Algorithm, GA）是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的自适应全局优化搜索算法。它最早由美国的 J. H. Holland 教授提出<sup>[3]</sup>，起源于 20 世纪 60 年代对自然和人工自适应系统的研究；70 年代，K. A. De Jong 基于遗传算法的思想，在计算机上进行了大量的纯数值函数优化计算试验；80 年代，遗传算法由 D. J. Goldberg 在一系列研究工作的基础上归纳总结而成。

遗传算法是通过模仿自然界生物进化机制而发展起来的随机全局搜索和优化方法。它借鉴了达尔文的进化论和孟德尔的遗传学说，本质上是一种并行、高效、全局搜索的方法，它能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识，并自适应地控制搜索过程以求得最优解。遗传算法操作：使用“适者生存”的原则，在潜在的解决方案种群中逐次产生一个近似最优的方案。在每一代中，根据个体在问题域中的适应度值和从自然遗传学中借鉴来的再造方法进行个体选择，产生一个新的近似解。这个过程导致种群中个体的进化，得到的新个体比原个体更能适应环境。

## 差分进化算法

差分进化算法 (Differential Evolution, DE) 是一种新兴的进化计算技术。它由 Storn 等人于 1995 年提出, 其最初的设想是用于解决切比雪夫多项式问题, 后来发现差分进化算法也是解决复杂优化问题的有效技术<sup>[4]</sup>。

差分进化算法是基于群体智能理论的优化算法, 是通过群体内个体间的合作与竞争产生的智能优化搜索。但相比于进化计算, 差分进化算法保留了基于种群的全局搜索策略, 采用实数编码、基于差分的简单变异操作和“一对一”的竞争生存策略, 降低了进化计算的复杂性。同时, 差分进化算法特有的记忆能力使它可以动态跟踪当前的搜索情况, 以调整其搜索策略, 它具有较强的全局收敛能力和稳健性, 且不需要借助问题的特征信息, 适用于求解一些利用常规的数学规划方法很难求解甚至无法求解的复杂优化问题。

## 免疫算法

最早的免疫系统模型是由 Jerne 于 1973 年提出的<sup>[5]</sup>, 他基于 Burnet 的克隆选择学说, 开创了独特型网络理论, 给出了免疫系统的数学框架, 并采用微分方程建模来仿真淋巴细胞的动态变化。Fernal 等人于 1986 年基于免疫网络学说理论构造出免疫系统的动态模型, 展示了免疫系统与其他人工智能方法相结合的可能性, 开创了免疫系统研究的先河。

免疫算法 (Immune Algorithm, IA) 是模仿生物免疫机制, 结合基因的进化机理, 人工构造出的一种新型智能搜索算法。免疫算法具有一般免疫系统的特征, 采用群体搜索策略, 通过迭代计算, 最终以较大的概率得到问题的最优解。相比于其他算法, 免疫算法利用自身产生多样性和维持机制, 保证了种群的多样性, 克服了一般寻优过程中 (特别是多峰值的寻优过程中) 不可避免的“早熟”问题, 可求得全局最优解。免疫算法具有自适应性、随机性、并行性、全局收敛性、种群多样性等优点。

## 1.2 群智能算法

群智能指的是“无智能的主体通过合作表现出智能行为的特性”, 是一种基于生物群体行为规律的计算技术。它受社会昆虫 (如蚂蚁、蜜蜂) 和群居脊椎动物 (如鸟群、鱼群和兽群) 的启发, 用来解决分布式问题。它在没有集中控制并且不提供全局模型的前提下, 为寻找复杂的分布式问题的解决方案提供了一种新的思路。

群智能方法易于实现，其算法中仅涉及各种基本的数学操作，其数据处理过程对 CPU 和内存的要求也不高。而且，这种方法只需要目标函数的输出值，而不需要其梯度信息。已完成的群智能理论和应用方法研究证明：群智能方法是一种能够有效解决大多数全局优化问题的新方法。群智能理论研究领域有两种主要的算法：蚁群算法和粒子群算法。前者是对蚂蚁群体食物采集过程的模拟，已成功应用于许多离散优化问题；后者起源于对简单社会系统的模拟，最初是模拟鸟群觅食的过程，但后来发现它是一种很好的优化算法。

## 蚁群算法

蚁群算法 (Ant Colony Optimization, ACO) 是由意大利学者 M. Dorigo、V. Maniezzo 和 A. Colomi 等人于 20 世纪 90 年代初期通过模拟自然界中蚂蚁集体寻径行为而提出的一种基于种群的启发式随机搜索算法，是群智能理论研究领域的一种主要算法<sup>[6]</sup>。

蚂蚁有能力在没有任何提示的情形下找到从巢穴到食物源的最短路径，并且能随环境的变化，自适应地搜索新的路径。其根本原因是蚂蚁在寻找食物时，能在其走过的路径上释放一种特殊的分泌物——信息素。随着时间的推移，该物质会逐渐挥发，后来的蚂蚁选择该路径的概率与当时这条路径上信息素的强度成正比。当一条路径上通过的蚂蚁越来越多时，其留下的信息素也越来越多，后来的蚂蚁选择该路径的概率也就越高，从而更增加了该路径上的信息素强度。而强度大的信息素会吸引更多的蚂蚁，从而形成一种正反馈机制。通过这种正反馈机制，蚂蚁最终可以发现最短路径。蚁群算法具有分布式计算、无中心控制和分布式个体之间间接通信等特征，易于与其他优化算法相结合。它通过简单个体之间的协作，表现出了求解复杂问题的能力，已经广泛应用于优化问题的求解。

## 粒子群算法

粒子群算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 是 Kennedy 和 Eberhart 受人工生命研究结果的启发，通过模拟鸟群觅食过程中的迁徙和群聚行为而提出的一种基于群体智能的全局随机搜索算法<sup>[7]</sup>；1995 年 IEEE 国际神经网络学术会议上发表了题为“Particle Swarm Optimization”的论文，标志着粒子群算法的诞生。粒子群算法一经提出，由于它算法简单，容易实现，立刻引起了进化计算领域学者们的广泛关注，成为一个研究热点。

粒子群算法与其他进化算法一样，也是基于“种群”和“进化”的概念，通过个体间的协作与竞争，实现复杂空间最优解的搜索。同时，它又不像其他进化算法那样对个体进行交叉、变异、选择等进化算子操作，而是将群体中的个体看成是在  $D$  维搜索空间中没有质量和体积的粒子，每个粒子以一定的速度在解空间

运动,并向自身历史最佳位置  $p_{\text{best}}$  和邻域历史最佳位置  $g_{\text{best}}$  聚集,实现对候选解的进化。粒子群算法因具有很好的生物社会背景而易于理解,由于参数少而容易实现,对非线性、多峰问题均具有较强的全局搜索能力,在科学研究与工程实践中得到了广泛关注。

### 1.3 模拟退火算法

模拟退火算法 (Simulated Annealing, SA) 的思想最早由 Metropolis 等人于 1953 年提出。Kirkpatrick 于 1983 年第一次使用模拟退火算法求解组合最优化问题<sup>[8]</sup>。模拟退火算法是一种基于 Monte Carlo 迭代求解策略的随机寻优算法,其出发点是基于物理中固体物质的退火过程与一般组合优化问题之间的相似性。其目的在于:为具有 NP (Non-deterministic Polynomial) 复杂性的问题提供有效的近似求解算法,它克服了传统算法优化过程容易陷入局部极值的缺陷和对初值的依赖性。

模拟退火算法是一种通用的优化算法,是局部搜索算法的扩展。它与局部搜索算法的不同之处,是以一定的概率选择邻域中目标值大的状态。从理论上来说,它是一种全局最优算法。模拟退火算法具有十分强大的全局搜索性能,这是因为它采用了许多独特的方法和技术:基本不用搜索空间的知识或者其他的辅助信息,而只是定义邻域结构,在邻域结构内选取相邻解,再利用目标函数进行评估;采用概率的变迁来指导它的搜索方向,它所采用的概率仅仅是作为一种工具来引导其搜索过程朝着更优化的区域移动。因此,虽然看起来它是一种盲目的搜索方法,但实际上有着明确的搜索方向。

### 1.4 禁忌搜索算法

搜索是人工智能的一个基本问题,一个问题的求解过程就是搜索。人工智能在各应用领域中,被广泛地使用。现在,搜索技术渗透在各种人工智能系统中,可以说没有哪一种人工智能的应用不用搜索技术。

禁忌搜索算法 (Tabu Search or Taboo Search, TS) 的思想最早由美国工程院院士 Glover 教授在 1986 年提出<sup>[9]</sup>,并在 1989 年和 1990 年对该方法做出了进一步的定义和发展。在自然计算的研究领域中,禁忌搜索算法以其灵活的存储结构和相应的禁忌准则来避免迂回搜索,在智能算法中独树一帜,成为一个研究热点,受到了国内外学者的广泛关注。禁忌搜索算法是对局部邻域搜索的一种扩展,是一种全局逐步寻优算法,是对人类智力过程的一种模拟。它通过禁忌准则来避免

重复搜索，并通过藐视准则来赦免一些被禁忌的优良状态，进而保证多样化的有效搜索，以实现最终全局优化。

## 1.5 神经网络算法

人工神经网络 (Artificial Neural Network, ANN) 简称为神经网络或称为连接模型。早在 1943 年, 心理学家 McCulloch 和数学家 Pitts 合作提出了形式神经元的数学模型, 从此开创了神经科学理论研究的时代<sup>[10]</sup>; 1957 年 Rosenblatt 提出的感知器模型, 由阈值性神经元组成, 试图模拟动物和人脑的感知和学习能力; 1982 年 H. Hopfield 提出了具有联想记忆功能的 Hopfield 神经网络, 引入了能量函数的原理, 给出了网络的稳定性判据, 这一成果标志着神经网络的研究取得了突破性的进展。

神经网络具有一些显著的特点: 具有非线性映射能力; 不需要精确的数学模型; 擅长从输入输出数据中学习有用知识; 容易实现并行计算; 由大量的简单计算单元组成, 易于用软硬件实现; 等等。因为神经网络是一种模仿生物神经系统的新的信息处理模型, 并具有独特的结构, 所以人们期望它能够解决一些用传统方法难以解决甚至无法解决的问题。迄今为止, 已经出现了许多神经网络模型及相应的学习算法。其中 Rumelhart 和 McClelland 于 1985 年提出的 BP 网络的误差反向后传 (Back Propagation, BP) 学习算法是一种最常用的神经网络算法。

## 参考文献

- [1] 周雪刚. 非凸优化问题的全局优化算法[D]. 长沙: 中南大学博士学位论文, 2010: 1-12.
- [2] 邢立宁. 知识型智能优化方法及其应用研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学博士学位论文, 2009: 1-10.
- [3] Holland J H. Adaptation in natural and artificial systems[M]. Ann Arbor: University of Michigan press, 1975.
- [4] Storn R, Price K: Minimizing the real functions of the ICEC'96 contest by differential evolution[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation, 1996: 842-844.
- [5] Jerne N K. Towards a Network Theory of the Immune System[J]. Annual Immunology, 1974, 125: 373-389.
- [6] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. Ant system: optimization by a colony of

- 
- cooperating agents[J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 1996, 26(1): 29-41.
- [7] Kennedy J, Eberhart R C. Swarm Intelligence[M]. USA: Academic Press, 2001.
- [8] Kirkpatrick S, Gelatt C, Vecchi M. Optimization by simulated Annealing [J]. Science, 1983, 220: 671-680.
- [9] Glover F. Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence [J]. Computers and Operations Research, 1986, 13(5): 533-549.
- [10] McCulloch W S, Pitts W. A logical calculus of ideas immanent in nervous activity [J]. Bulletin of Mathematical Biophysics, 1943, 5: 115-133.





# 第 2 章

## 遗传算法

---

### 2.1 遗传算法简介

遗传算法（Genetic Algorithm, GA）是模拟生物在自然环境中的遗传和进化的过程而形成的自适应全局优化搜索算法。它借用了生物遗传学的观点，通过自然选择、遗传和变异等作用机制，实现各个个体适应性的提高。遗传算法最早由美国的 J. H. Holland 教授提出<sup>[1]</sup>，起源于 20 世纪 60 年代对自然和人工自适应系统的研究；70 年代，K. A. De Jong 基于遗传算法的思想，在计算机上进行了大量的纯数值函数优化计算试验<sup>[2]</sup>；80 年代，遗传算法由 D. E. Goldberg 在一系列研究工作的基础上归纳总结而成<sup>[3]</sup>。

20 世纪 90 年代以后，遗传算法作为一种高效、实用、鲁棒性强的优化技术，发展极为迅速，在机器学习、模式识别、神经网络、控制系统优化及社会科学等不同领域得到广泛应用，引起了许多学者的广泛关注。进入 21 世纪，以不确定性、非线性、时间不可逆为内涵的复杂性科学成为一个研究热点。遗传算法因能有效地求解 NP（Non-deterministic Polynomial）问题以及非线性、多峰函数优化和多目标优化问题，得到了众多学科学者的高度重视，同时这也极大地推动了遗传算法理论研究和实际应用的不断深入与发展。目前，在世界范围内已掀起关于遗传算法的研究与应用热潮<sup>[4-6]</sup>。

遗传算法借鉴了达尔文的进化论和孟德尔的遗传学说。其本质是一种并行、高效、全局搜索的方法，它能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识，并自适应地控制搜索过程以求得最优解。遗传算法操作使用“适者生存”的原则，