

学术专著  
Academic Monograph



Social Emotional  
Optimization Algorithm

# 社会情感 优化算法

崔志华◎著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

# 社会情感优化算法

崔志华 著

電子工業出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

社会情感优化算法是一种新型的模拟人类社会群体行为的群智能优化算法，与常见的几种群智能算法相比，社会情感优化算法收敛效率更高。本书分为7章，第1、2章介绍了社会情感优化算法的基本概念、进化方程等；第3~5章从情感更新方式、决策机制及混合方式等方面探讨了社会情感优化算法的改进模式；第6、7章将社会情感优化算法分别应用于团簇优化问题及电力系统无功优化问题，从而为解决相关应用问题提供了参考。

本书适合从事智能计算研究与应用的科技工作者和工程技术人员阅读使用，也可作为高等院校计算机科学与技术、控制科学与工程等学科的高年级本科生及研究生的教学参考书。

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

社会情感优化算法/崔志华著. —北京：电子工业出版社，2011.11

ISBN 978-7-121-14873-6

I. ①社… II. ①崔… III. ①群体社会学—最优化算法 IV. ①C912

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 215037 号

策划编辑：秦绪军 赵 娜

责任编辑：刘 凡

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司  
装 订：

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 字数：235 千字

印 次：2011 年 11 月第 1 次印刷

印 数：2 000 册 定价：36.00 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，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn)，盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线：（010）88258888。

# 序

社会情感优化算法是一种新的群智能优化算法，呈现在读者面前的《社会情感优化算法》一书通过分析人类群体的社会学特征，提炼形成了社会情感优化算法的概念，充实和发展了群智能优化算法的研究范畴。该书从算法基本概念、参数、混合方式及应用研究等方面，全面论述了改善社会情感优化算法的实现形式，结构严谨，研究深入，颇有创见。

社会情感优化算法作为一种典型的群智能优化算法，模拟了人类群体的社会行为。人类社会结构是一个动态的复杂网络，具有小世界模型和无标度网络等特征。作为一种典型的复杂适应系统，人类群体在其形成、进化过程中呈现出一系列动力学特性，出现了许多涌现性智能。因此，如何研究人类群体的自组织、自学习及涌现智能是一个很有意义的研究课题，本书的出版将推进这一新兴领域的研究。

作为一本总结研究成果的学术专著，本书凝结了作者的心血。他们善于把握研究方向，对学术前沿具有较强的敏感性，在智能计算领域取得了许多创新性研究成果，迄今已发表学术论文百余篇，出版专著5部，并多次获得科研成果奖励。他们以多项国家级和省部级基金项目为依托，在社会情感优化算法的理论与应用方面取得了重要研究进展。因此，我相信本书的出版对于推动群智能算法的前沿研究与实际应用，进而促进智能科学的发展具有重要的学术价值和现实意义。

特此作序，并向读者推荐这本智能科学研究的优秀著作。

中国科学院研究员

史忠植

2011年8月于北京

# 前 言

群体智能是一种在自然界生物群体活动表现出的智能现象启发下提出的人工智能模式，是对简单群体生物智能涌现的具体实现模式研究。由于生命科学与工程科学的相互交叉、相互渗透及相互促进，目前已提出多种群智能优化算法，它们形态多样、理念各异，建模及分析工具各具特色。

本书是作者近年来科研成果的总结，全书共7章，可以分为如下三个部分：

(1) 群智能算法介绍及社会情感优化算法基础，包括第1、第2两章。这部分详细介绍了社会情感优化算法的基本概念、流程及常见的参数设置。

(2) 第3~5章讨论了情感更新及选择方式、个体及群体决策机制以及算法的混合模式，从不同角度改善了算法性能。

(3) 针对物理化学领域的团簇优化问题及电力系统的无功优化问题，有针对性地设计改进社会情感优化算法，从而为解决其他应用问题提供了参考。

本书的完成得到了太原科技大学复杂系统与计算智能实验室各位同仁的大力支持；在书稿出版过程中，电子工业出版社的赵娜编辑提供了多方面的帮助，再次一并致以诚挚的谢意。

由衷感谢中国人工智能学会副理事长、中国科学院计算技术研究所史忠植研究员为本书作序。

本书研究工作得到国家青年科学基金（项目编号：61003053）、教育部科学技术研究重点项目（项目编号：209021）、山西省自然科学基金（项目编号：2011011012-1）、山西省高等学校优秀青年学术带头人支持计划及南京大学计算机软件新技术国家重点实验室开放课题（项目编号：KFKT2010B27）的资助。上述基金项目的支持为作者及其团队创造了宽松的学术氛围和科研环境，在此谨向有关部门表示深深感谢并致以敬意。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请各位专家和广大读者给予批评指正。

崔志华

2011.9

# 目 录

## 第一部分 导引篇

第 1 章 绪论	3
1.1 问题的提出	3
1.2 智能计算概述	4
1.2.1 智能计算分类	4
1.2.2 智能计算方法原理	5
1.2.3 无免费午餐定理	7
1.3 进化计算	7
1.3.1 进化算法的一般框架	8
1.3.2 遗传算法	8
1.3.3 进化策略	9
1.3.4 进化规划	10
1.3.5 遗传程序设计	10
1.4 常见的群体智能算法	11
1.4.1 蚁群算法	11
1.4.2 视觉扫描优化算法	12
1.4.3 萤火虫算法	14
1.4.4 搜索者优化算法	15
1.4.5 人工蜂群算法的原理	16
1.4.6 人工鱼群算法	18
1.5 本书的篇章结构	19
参考文献	20
第 2 章 社会情感算法	23
2.1 已有的人类社会研究成果	23
2.2 社会情感理论	26



2.2.1	理智前提下的情感	26
2.2.2	个人情绪和社会情感及其相互关系	27
2.2.3	情绪对行为的影响和对环境的反馈	28
2.3	社会情感优化算法	29
2.3.1	算法介绍	29
2.3.2	社会行为分析	31
2.4	仿真实验	32
2.4.1	实验环境	32
2.4.2	参数 $m_1$ 及 $m_2$ 的选择	33
2.4.3	实验结果及分析	35
2.5	小结	37
	参考文献	37

## 第二部分 原理篇

第 3 章	情感更新方式及选择方式的策略研究	43
3.1	常见的几种概率分布	43
3.1.1	正态分布	43
3.1.2	柯西分布	44
3.1.3	莱维分布	45
3.2	基于正态分布的社会情感优化算法	45
3.2.1	算法思想	45
3.2.2	算法流程	47
3.2.3	基于均匀设计的参数选择	47
3.3	基于柯西分布和莱维分布的社会情感优化算法	49
3.4	基于情感强度第一定律的情感计算方式	52
3.4.1	情感与价值	52
3.4.2	情感强度第一定律	52
3.4.3	基于情感强度第一定律的情感计算	53
3.4.4	随机期望值模型的应用	54
3.5	小结	59
	参考文献	59



<b>第 4 章 基于决策理论的社会情感优化算法</b> .....	61
4.1 决策的相关内容介绍 .....	61
4.1.1 个体决策介绍 .....	62
4.1.2 群体决策介绍 .....	63
4.2 基于个体决策的社会情感优化算法 .....	66
4.2.1 决策任务 .....	66
4.2.2 决策步骤 .....	66
4.2.3 决策结果 .....	67
4.2.4 算法步骤 .....	67
4.2.5 实验仿真 .....	68
4.3 利用群体决策历史信息的社会情感优化算法 .....	69
4.3.1 算法背景 .....	69
4.3.2 决策过程 .....	69
4.3.3 算法步骤 .....	70
4.3.4 实验仿真 .....	70
4.4 基于小世界模型的社会情感优化算法 .....	72
4.4.1 常见的邻域结构 .....	72
4.4.2 WS 小世界模型 .....	73
4.4.3 NW 小世界模型 .....	74
4.5 小结 .....	75
参考文献 .....	76
<b>第 5 章 混合社会情感优化算法</b> .....	79
5.1 基于 Metropolis 准则的社会情感优化算法 .....	79
5.1.1 社会情感优化算法的多样性分析 .....	79
5.1.2 Metropolis 准则介绍 .....	79
5.1.3 基于 Metropolis 准则的社会情感优化算法 .....	80
5.1.4 实例仿真 .....	81
5.2 基于二次插值法的社会情感优化算法 .....	82
5.2.1 二次插值法介绍 .....	84
5.2.2 二次插值法与社会情感优化算法的结合 .....	84
5.3 在非线性方程组求解的应用 .....	85
5.3.1 非线性方程组及其等价优化模型 .....	87
5.3.2 仿真实验 .....	88





5.4 小结 ..... 89  
 参考文献 ..... 90

### 第三部分 应用篇

第 6 章 团簇优化问题的社会情感优化算法求解 ..... 95

6.1 团簇优化问题介绍 ..... 95

6.1.1 Lennard-Jones 势函数 ..... 95

6.1.2 Lennard-Jones 原子团簇 ..... 96

6.1.3 基于团簇结构的优化算法 ..... 99

6.1.4 团簇结构的研究现状 ..... 100

6.1.5 Ag 团簇 ..... 101

6.2 基于社会情感优化算法的团簇问题求解 ..... 102

6.2.1 限域拟牛顿优化算法 ..... 102

6.2.2 算法流程 ..... 104

6.2.3 团簇优化结果 ..... 105

6.3 基于种子技术的团簇结构优化 ..... 108

6.3.1 种子技术介绍 ..... 108

6.3.2 基于种子技术的改进 SEOA ..... 109

6.4 基于格点技术的团簇结构优化 ..... 113

6.4.1 离散的社会情感优化算法介绍 ..... 114

6.4.2 格点技术 ..... 114

6.4.3 离散化社会情感优化算法 ..... 114

6.4.4 原子团簇的优化结果与方法分析 ..... 116

6.5 小结 ..... 117

参考文献 ..... 118

第 7 章 社会情感优化算法在电力系统无功优化中的应用 ..... 121

7.1 电力系统概述 ..... 121

7.2 电力系统无功优化的数学模型 ..... 122

7.2.1 网损最小的经典无功优化模型 ..... 122

7.2.2 以电压水平为目标的无功优化模型 ..... 123

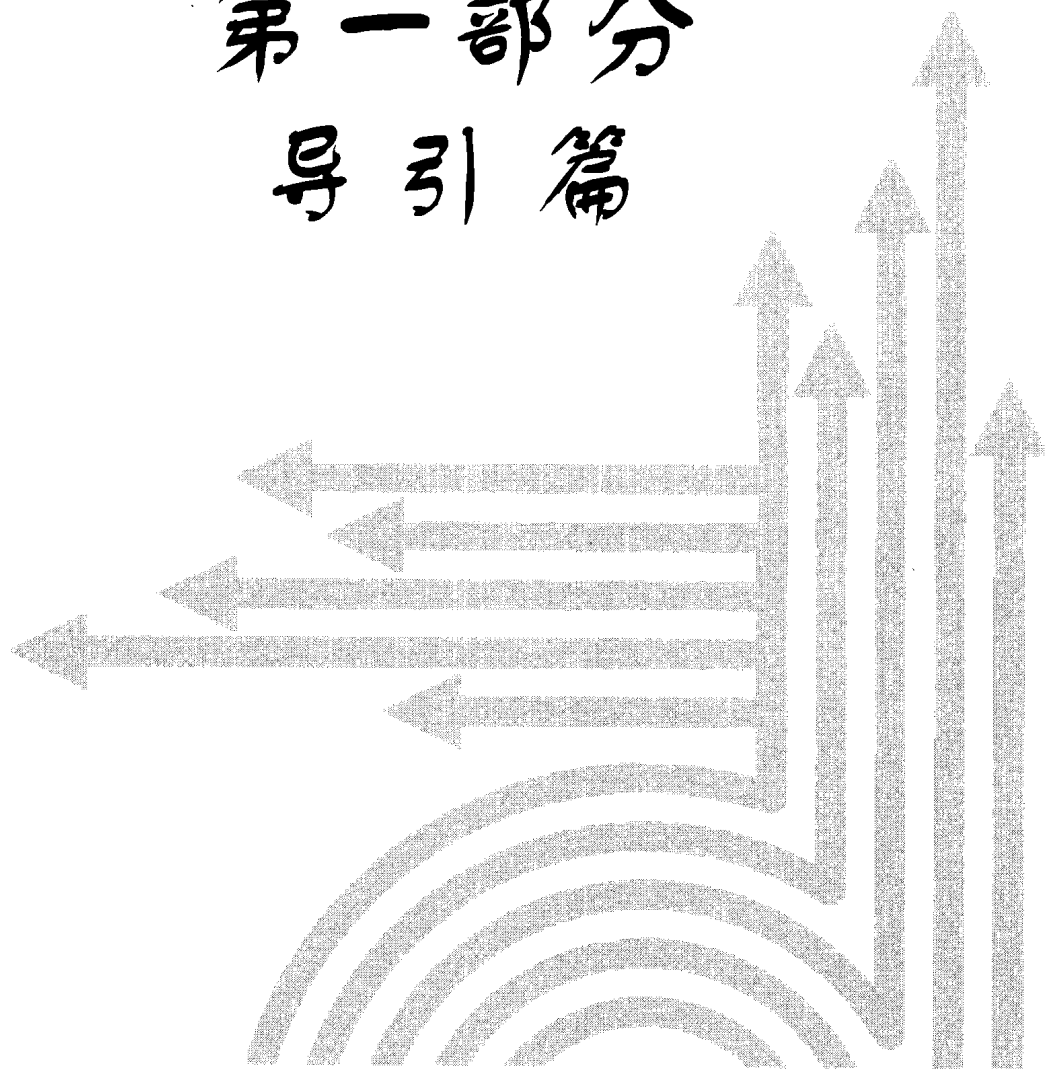
7.2.3 多目标罚函数的无功优化模型 ..... 123



7.2.4	计及网损和控制成本的无功优化模型	123
7.2.5	本章采用的无功优化模型	124
7.3	现有电力系统无功优化算法介绍	125
7.3.1	常规优化算法	125
7.3.2	智能优化算法	127
7.4	社会情感优化算法在电力系统无功优化中的应用	128
7.4.1	算法求解流程	129
7.4.2	算例应用与分析	129
7.5	基于情感计算的社会情感优化算法	148
7.5.1	情绪变化模型	149
7.5.2	三维情绪空间	149
7.5.3	情绪变化矩阵	150
7.5.4	引入情绪变化模型的社会情感优化算法	151
7.5.5	算法步骤	152
7.6	EMSEOA 在无功优化中的应用	152
7.6.1	EMSEOA 的无功优化流程	152
7.6.2	应用算例及分析	152
7.7	小结	155
	参考文献	156
附录 A	典型测试函数	159
附录 B	剑桥大学 LJ 数据库团簇优化标准结果	169
附录 C	典型的电力系统	173

# 第一部分

## 导引篇





# 第1章 绪论

## 1.1 问题的提出

在人们的日常生活中总是存在这样的问题：需要综合考虑各方面因素，找到一个契合点，各方面的要求都得到某种程度上的满足，各方面的综合利益实现最大化，达到一种共赢的局面，这就是最优化问题。所谓最优化<sup>[1]</sup>，就是在一个给定集合上求某个函数的极值。

不失一般性，设所考虑的最优化问题为

$$\begin{aligned} \min \sigma &= f(x) \\ \text{s.t. } x &\in S = \{X \mid g_i(X) \leq 0, i=1, \dots, m\} \end{aligned} \quad (1.1)$$

式中， $\sigma = f(x)$  为目标函数； $g_i(X)$  为约束函数； $S$  为约束域； $X$  为  $n$  维优化变量。

通常最大化问题很容易转换为最小化问题 ( $\sigma = -f(x)$ )，对于  $g_i(X) \geq 0$  的约束和等式约束也可转换为  $-g_i(X) \leq 0$  的约束，所以式 (1.1) 描述的最优化问题不失一般性。

当  $f(x)$ 、 $g_i(X)$  为线性函数，且  $X \geq 0$  时，上述最优化问题即为线性规划问题，其求解方法有成熟的单纯形法和 Karmarc 方法。

当  $f(x)$ 、 $g_i(X)$  中至少有一个函数为非线性函数时，上述问题即为非线性规划问题。非线性规划问题相当复杂，其求解方法多种多样，但到目前为止仍然没有一种有效的适应所有问题的方法。

当优化变量  $X$  仅取整数值时，上述问题即为整数规划问题，特别是当  $X$  仅能取 0 或 1 时，上述问题即为 0-1 整数规划问题。由于整数规划问题属于组合优化范畴，其计算量随变量维数的增长而指数增长，所以存在着“维数灾难”问题。

当  $g_i(X) \leq 0 (i=1, \dots, m)$  所限制的约束空间为整个  $n$  维欧氏空间，即  $R^n$  时，上述最优化问题为无约束优化问题，即

$$\begin{aligned} \min \sigma &= f(x) \\ \text{s.t. } x &\in S \subset R^n \end{aligned} \quad (1.2)$$

对于非线性规划问题（包括无约束优化问题和约束优化问题），由于函数的非线性，使得问题的求解变得十分困难，特别是当目标函数在约束域内存在多峰值时。常见的求解非线性问题的优化方法，其求解结果与初值的选择关系很大，也就是说，一般的约束或无约束非线性优化方法均是求目标函数在约束域内的近似



极值点，而非真正的最小点。

优化问题的求解一般使用确定性和随机性的优化算法。传统的确定性优化算法主要采用单点迭代方式来进行优化，其算法大致可以分为两类：

(1) 利用梯度信息来提高优化效果的算法，如最速下降法、共轭梯度法、牛顿法、变尺度法及最小二乘法等；

(2) 仅利用位置信息进行优化的算法，如坐标轮换法、Hooke-Jeeves 模式搜索法、Rosenbrock 旋转方向法、Powell 方向加速法及单纯形法等。

随着科学技术及工程应用的发展，研究人员提出了许多具有非线性、高维、不连续等特点的优化问题，但这些问题一般都难以用传统的确定性算法来解决。为了求解这些问题，学者们提出了随机优化思想，并设计出许多随机优化方法。而在这些算法中，智能计算<sup>[2]</sup>作为一种创建计算智能系统的新颖方法，越来越引起人们的关注；同时，随着各类智能算法在不同应用领域不断成功应用，智能计算已成为当前研究的热点领域，形成了众多的发展方向<sup>[3]</sup>。

智能计算的主要研究方法是依据广义生态学，力求从自然界、生物系统、生命现象中寻求灵感，通过对自然生物系统、生命个体的进化过程、智能行为、智能载体结构以及智能信息处理机制的借鉴和模拟，构建各种智能计算模型，用于求解现实世界中的大规模、非线性复杂问题。虽然各智能计算研究分支的产生均是相对独立的，并且不同程度上各自发展成一个较宽广的研究领域，有着不同的计算模型与理论基础。但是由于它们共同的智能特征，所以在发展过程中不可避免地产生融合，从而形成混合智能计算模型。总而言之，智能计算方法为各种问题，尤其是复杂问题的求解提供了一种新颖的途径，显示出强大的生命力和广阔的发展前景。

## 1.2 智能计算概述

### 1.2.1 智能计算分类

根据模拟对象的不同，现有的计算智能可以分为两类：模拟物理化学规律所产生的计算智能算法和模拟生物界的智能行为所产生的计算智能算法，其中受自然界中的物理化学规律启发，一些学者提出了相应的计算智能算法，如模拟万有引力定律的中心力算法<sup>[4]</sup>、模拟磁铁引力与斥力原理的类电磁机制算法<sup>[5]</sup>以及模拟牛顿第二力学定律的拟态物理学全局优化算法<sup>[6]</sup>等。而根据其模拟对象的数量不同，模拟生物界的智能行为所产生的计算智能算法又可分为基于生物种群模拟的方法和基于生物个体模拟的方法两类。基于种群模拟的方法是指模拟生物界群体的智能行为所产生的计算智能算法，基于个体模拟的方法是指模拟生物个体的智能行为所产生的计算智能算法。



基于种群模拟的计算智能包括进化计算<sup>[7]</sup>、群体智能<sup>[8]</sup>以及多 Agent 系统<sup>[9]</sup>等,其中进化计算模拟了种群进化的方式,主要包括遗传算法<sup>[10]</sup>、进化规划<sup>[11]</sup>、进化策略等算法<sup>[26]</sup>。而群智能包括蚁群算法<sup>[13]</sup>、微粒群算法<sup>[14-16]</sup>、人工蜜蜂算法<sup>[17]</sup>、社会情感优化算法<sup>[18]</sup>、搜索者优化算法<sup>[19]</sup>、视觉扫描优化算法<sup>[20]</sup>、多 Agent 系统则模拟了种群的协作模式、组织进化算法<sup>[21]</sup>以及免疫计算<sup>[22]</sup>等。基于个体的模拟大致包括神经网络<sup>[23]</sup>、支持向量机<sup>[24]</sup>等,其中神经网络模拟人脑神经元的结构,支持向量机模拟人的模式识别能力(较为直观的模式如图 1.1 所示)。

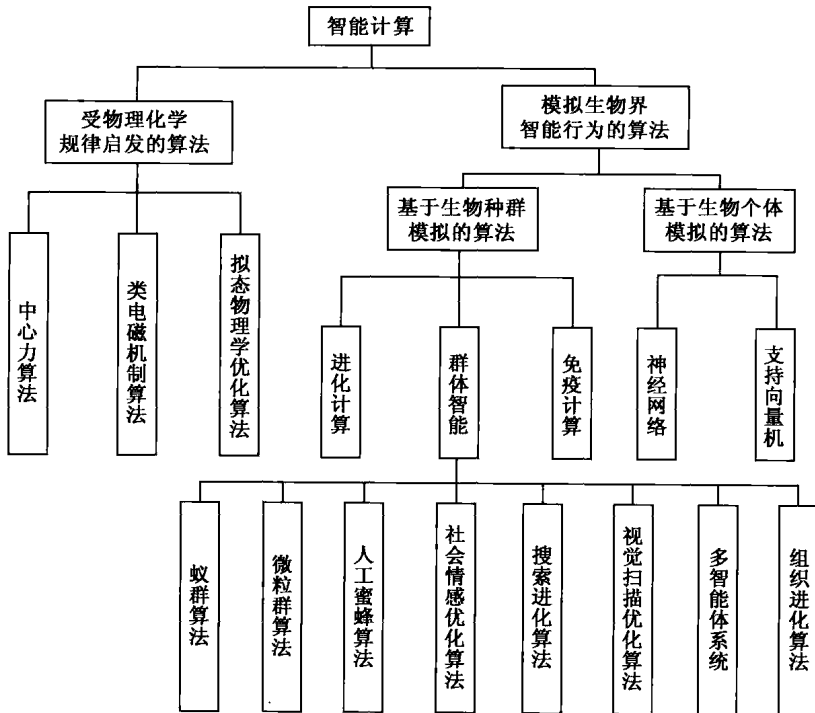


图 1.1 智能计算分类

上述各智能计算研究分支的产生过程均是相对独立的,并且不同程度上各自发展成为一个较宽广的研究领域,有着不同的计算模型与理论基础,可用来求解各种不同领域中的非线性复杂问题,尤其是现实世界中的各种工程优化问题。但是它们本质上具备共同的智能特征,因此在发展过程中不可避免地会产生融合,从而形成混合智能计算模型。

## 1.2.2 智能计算方法原理

前文已述及智能计算方法是借鉴和模拟生物结构和行为,乃至自然现象、过程及其原理的各种计算方法的总称。这里借用了自然计算的有关概念,“自然”包



括生物系统、生态系统和物质系统。智能计算方法在问题求解时具有两个显著特点：首先，智能计算方法主要不是采用数学计算的模式，而是借鉴和模拟自然现象、过程及其原理，利用的是生物智能、物质现象及其规律，并以数据处理、算法（计算模型）构造和参数控制为特征；其次，智能计算方法并不需要建立关于问题本身的精确（数学或逻辑）模型，而是利用计算过程中的启发式信息（如个体和群体的评价信息、计算进程的状态信息等）指导解的搜索，使之不断趋近最优解的区域，并逐步向着最优解的方向靠近。因此，智能计算方法也属于启发式方法的范畴，是现代启发式方法，而以往基于数学计算的，包括动态规划法、分枝定界法和 A\*算法等在内的启发式方法则是传统启发式方法。

智能计算方法的上述特点使其在问题求解方面与传统的数学方法相比具有以下优越性：① 具有一般性，易于应用；② 求解速率快，易于获得满意的结果；③ 具有分布、并行的特点；④ 具有自组织、自适应和自学习的特性和能力；⑤ 具有柔性和鲁棒性。正因为如此，智能计算方法受到了世界各国学者和研究人员的普遍关注，得到了迅速发展，而且已经在复杂优化问题求解、智能控制、模式识别、网络安全、硬件设计、社会经济、生态环境等各个方面得到了应用，并取得了令人瞩目的成功。

智能计算方法是人工智能领域中的一个新的热点，它的兴起促进了人工智能的快速发展，充实了人工智能的研究内容。智能计算方法的蓬勃兴起具有重要而深远的意义，概括起来主要表现在两个方面。

(1) 从宏观层面来说，智能计算方法为人工智能的发展开辟了一条新的道路。人们通过重新审视逐渐认识到自然界中普遍存在的各种生物系统、生态系统和物质系统蕴涵了巧夺天工的信息处理机制，智能行为不能用简单的数学模型来描述，人工智能“应该从生物学而不是物理学受到启示”。智能计算方法强调的是对生物结构和行为，乃至自然现象、过程及其原理的借鉴和模拟，它的出现开辟了人工智能领域的一个崭新分支——计算智能。

(2) 从操作层面来说，智能计算方法为问题求解提供了一种不同于传统数学求解方法的途径，它采用新颖的计算求解模式，具有强大的问题求解能力，能够有效地处理和解决各种复杂问题，是问题求解的新范式。

总的来讲，智能计算方法的研究旨在更加广泛、深入地挖掘和利用生物智能、物质现象及其规律，在改进和完善已有各种智能计算方法，从而促进它们广泛、深入发展的同时，继续探索和开发新的方法，使智能计算方法得到不断的丰富和发展。在智能计算方法的研究过程中，既要注意各种方法的纵向研究，包括原理基础（如仿生计算所依赖的仿生机理）、算法设计、理论分析和工程应用等方面的研究；也要加强各种方法的横向研究，即各种方法之间的对比和集成。因此，基于综合集成的观点建立和混合集成智能计算方法的开发，是智能计算方法的重要





发展方向之一。

### 1.2.3 无免费午餐定理

Wolpert 和 Macready 于 1997 年在国际著名期刊 *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 上发表了题为 *No free lunch theorems for optimization* 的论文<sup>[25]</sup>, 提出并严格论证了所谓的无免费午餐定理, 简称 NFL 定理。这是一个有趣的研究成果, 其结论令众多研究者感到意外, 并在优化领域引发了一场持久争论。

NFL 定理可以简单地表述为: 对于所有可能的问题, 任意给定两个算法  $A$  和  $A'$ , 如果  $A$  在某些问题上表现比  $A'$  好(差), 那么  $A$  在其他问题上的表现就一定比  $A'$  差(好)。也就是说, 任意两个算法  $A$  和  $A'$ , 对所有问题的平均表现度量是一致的。

需要指出的是, NFL 定理是定义在有限搜索空间上的, 对于无限搜索空间并不能断言其结论一定成立。然而, 目前基于计算机仿真的各种优化算法都是在有限搜索空间进行的, 因此 NFL 定理适用于目前所有优化算法。

既然所有的优化算法在所有可能的函数集上的平均性能都是等价的, 那么是否意味着将无法设计出比穷举搜索或完全随机搜索更好的算法? 是否研究优化算法所做的一切努力都是徒劳? 其实不然。NFL 定理的启示在于需要理性而客观地对待优化算法的研究: 当面对一个广泛且形式多样的函数类时, 不能期望寻找一个万能的优化算法; 对于所有函数类不存在万能的最佳算法, 但对于函数的子集, 该结论却未必成立。Christensen 和 Oppacher<sup>[26]</sup>曾提出了“可搜索函数”这一定义, 并对这类函数设计了一个通用算法, 证明该算法在可搜索函数集上的性能优于随机搜索。

在现实世界中存在着大量问题, 这些现实问题是所有函数集的特殊子类, 人们认为它必定有解, 并需要找到它的解, 这正是研究的动机。基于以上分析, 可以得到优化算法研究的一些指导原则如下<sup>[27]</sup>:

(1) 以算法为导向, 从算法到问题。对于每一个算法, 都有其适用和不适用的问题; 给定一个算法, 应尽可能地通过理论分析, 给出其适用问题类的特征, 使其成为一个“指示性”算法。

(2) 以问题为导向, 从问题到算法。对于一个小的特定函数集, 或者一个特定的实际问题, 可以设计专门适用的算法去求解。

## 1.3 进化计算

近十余年来, 遗传算法(Genetic Algorithm, GA)、进化策略(Evolutionary Strategy, ES)、进化规划(Evolutionary Programming, EP)和遗传程序设计(Genetic