

信息科学技术学术著作丛书

自然计算

莫宏伟 徐立芳 著



科学出版社

信息

自然计算

莫宏伟 徐立芳 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书介绍了比较流行的自然计算方法及新提出的自然计算方法和一些前沿内容。全书共八章,第1章绪论,第2章细菌觅食优化算法,第3章蜂群优化算法,第4章人工鱼群算法,第5章蚁群算法,第6章生物地理优化算法,第7章磁性细菌优化算法,第8章 Memetic 算法。

本书可作为计算机、信息、控制、机电等专业研究生、博士生教材,也可供希望掌握自然计算、计算智能技术的大专院校、科研机构研究人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

自然计算/莫宏伟,徐立芳著. —北京:科学出版社,2016

(信息科学技术学术著作丛书)

ISBN 978-7-03-049947-9

I. 自… II. ①莫… ②徐… III. 人工智能—计算 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 225719 号

责任编辑:魏英杰 / 责任校对:蒋 萍

责任印制:张 伟 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年9月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016年9月第一次印刷 印张:20 3/4

字数:400 000

定价:110.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《信息科学技术学术著作丛书》序

21 世纪是信息科学技术发生深刻变革的时代,一场以网络科学、高性能计算和仿真、智能科学、计算思维为特征的信息科学革命正在兴起。信息科学技术正在逐步融入各个应用领域并与生物、纳米、认知等交织在一起,悄然改变着我们的生活方式。信息科学技术已经成为人类社会进步过程中发展最快、交叉渗透性最强、应用面最广的关键技术。

如何进一步推动我国信息科学技术的研究与发展;如何将信息技术发展的新理论、新方法与研究成果转化为社会发展的新动力;如何抓住信息技术深刻发展变革的机遇,提升我国自主创新和可持续发展的能力?这些问题的解答都离不开我国科技工作者和工程技术人员的求索和艰辛付出。为这些科技工作者和工程技术人员提供一个良好的出版环境和平台,将这些科技成就迅速转化为智力成果,将对我国信息科学技术的发展起到重要的推动作用。

《信息科学技术学术著作丛书》是科学出版社在广泛征求专家意见的基础上,经过长期考察、反复论证之后组织出版的。这套丛书旨在传播网络科学和未来网络技术,微电子、光电子和量子信息技术、超级计算机、软件和信息存储技术,数据知识化和基于知识处理的未来信息服务业,低成本信息化和用信息技术提升传统产业,智能与认知科学、生物信息学、社会信息学等前沿交叉科学,信息科学基础理论,信息安全等几个未来信息科学技术重点发展领域的优秀科研成果。丛书力争起点高、内容新、导向性强,具有一定的原创性;体现出科学出版社“高层次、高质量、高水平”的特色和“严肃、严密、严格”的优良作风。

希望这套丛书的出版,能为我国信息科学技术的发展、创新和突破带来一些启迪和帮助。同时,欢迎广大读者提出好的建议,以促进和完善丛书的出版工作。

中国工程院院士

原中国科学院计算技术研究所所长



前 言

20 世纪 40~60 年代,随着人工智能的诞生和兴起,涌现出许多生物启发的计算方法,如众所周知的遗传算法(模拟生物进化)、神经网络模型(模拟人类大脑神经系统)、模糊系统(模拟人类思维)等。这些方法通过模拟隐含的生物学基本原理,已经成功解决了许多领域中的问题。

自然系统具有高度复杂性、非线性、并行性,隐含着比数字计算机更快地求解问题的能力。自然计算就是比喻性地使用自然系统潜在的概念、原理和机制发展解决人类社会各种问题的理论和方法。从历史发展的过程看,从自然界获取灵感发展人工技术和方法的思想由来已久,如自然界生物进化一样,这些技术和方法本身也在不断进化。遗传算法、人工神经网络、模糊系统等经典方法从诞生至今已经各自演变成相对独立的人工智能研究领域,保持着长久不衰的生命力,在半个多世纪中不断得到改进,衍生出众多的、在许多问题领域越来越有效率的新方法。特别是最近二十余年,有关进化计算的学术论文逐年增加,主要发表在 *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 和 *Evolutionary Computation* 等杂志,以及在 CEC、GECCO、PPSN、FOGA 和 EuroGP 等国际学术会议上。焦李成、公茂果等 2008 年在 *Evolutionary Computation* 上提出一种求解多目标优化的免疫算法——非支配邻域免疫算法,是该期刊创刊以来国内学者在该刊物发表的第二篇论文。近年来,进化计算的研究已相对成熟,基本算法设计、基本理论研究方面趋于完善,一些基于演化原理的、为更好解决实际问题的算法,如多目标演化算法、协同演化算法、约束优化演化算法,以及将演化计算与神经网络等方法、技术相结合引起了研究者广泛的兴趣,掀起一股世界范围内的研究热潮。

在上述三种经典自然计算发展的基础上,从 20 世纪 90 年代至今,基本每十年就会涌现出一批新的自然计算方法,90 年代初代表性的有蚁群算法(ant colony optimization, ACO)、粒子群算法(particle swarm optimization, PSO)、免疫算法、文化算法、Memetic 算法。前两种算法又形成一个新的自然计算分支——群体智能。2000 年以后的十年,人工免疫系统发展迅速,这一时期,人工鱼群算法(artificial fish swarm optimization, AFSO)、细菌算法(bacteria algorithm, BA)、蜂群算法、生物地理优化算法(biogeography based optimization algorithm, BBO)、萤火虫算法、野草入侵优化算法等新方法不断涌现,使自然计算家族不断壮大。

自然计算从启发源看,大致可以分成三类,即生物启发的计算、利用化学反应过程实现问题求解。物理启发的计算和化学反应计算具有高度并行性,计算效率

极高。如果我们从广义的角度把人类社会及思维看做是自然界生物的一部分,则受人类社会启发的计算也应该看做是自然计算的一部分,如智能主体、形式语言等。社会启发的计算具有较高的智能性。

本书作者的研究成果得到国家自然科学基金(No. 61075113),黑龙江省杰出青年科学基金(No. JC201212),中央高校基础科研业务费(No. HEUCFX041306),哈尔滨市优秀学科带头人专项资金(No. 2012RFXXG073)资助。

本书共 8 章,主要内容包括比较有代表性的群体智能算法,包括细菌觅食优化算法、蜂群优化算法、人工鱼群算法、生物地理优化算法,以及 Memetic 算法和作者提出的趋磁性细菌优化算法。既有比较流行的自然计算方法,也有新提出的自然计算方法。

书中有关内容参考了国内外许多文献,首先向所有被引文献的作者及我的硕士生刘宇颖、关晓蕾、郭海洋、李真真、刘宁、马靓雯和博士生徐志丹、刘莉莉、赵娇表示感谢,有些未能直接沟通,希望得到理解和支持。还要感谢出版社首席策划魏英杰。感谢作者父母、家人对作者工作的大力支持。

限于理论功底及水平有限,仓促之余,不妥之处在所难免,请各位同行和专家批评指正。

作 者

2016 年 3 月于哈尔滨工程大学

目 录

《信息科学技术学术著作丛书》序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 自然计算类型	3
1.3 计算主义	6
1.4 群体智能	7
1.5 自然计算发展趋势与展望	9
参考文献	11
第 2 章 细菌觅食优化算法	13
2.1 起源和进展	13
2.2 原理与模型	13
2.2.1 基本思想	13
2.2.2 数学模型	14
2.2.3 算法流程	15
2.3 算法优化效果验证与分析	17
2.3.1 细菌觅食优化算法效果分析	17
2.3.2 模糊 C 均值聚类算法	24
2.3.3 基于细菌觅食算法的模糊 C 均值聚类算法	26
2.3.4 BF-FCM 聚类算法效果分析	30
2.4 应用实例	32
2.4.1 BF-FCM 算法在图像分割的应用	32
2.4.2 图像分割的性能评价指标	34
2.4.3 BF-FCM 算法图像分割效果分析	35
参考文献	42
第 3 章 蜂群优化算法	43
3.1 起源和进展	43
3.2 原理与模型	44
3.2.1 基于繁殖原理的蜂群算法	44
3.2.2 蜜蜂采蜜原理的蜂群算法	46

3.2.3 蜂群算法特点	48
3.3 基于蜂群算法的函数优化	49
3.3.1 函数优化的问题描述	49
3.3.2 实验设计与结果分析	49
3.4 应用实例	54
3.4.1 蜂群算法用于无人机航迹规划	54
3.4.2 基于蜂群飞行机制的多无人机协同飞行	65
3.5 本章小结	77
参考文献	78
第4章 人工鱼群算法	80
4.1 引言	80
4.2 算法的改进	80
4.2.1 对算法参数的改进	80
4.2.2 基于鱼群行为的改进	80
4.2.3 混合优化算法	81
4.3 人工鱼群算法的基本原理	81
4.3.1 基本流程	81
4.3.2 人工鱼群算法描述	81
4.3.3 人工鱼群算法的优缺点	84
4.4 各参数对收敛性能影响的分析	84
4.4.1 视野范围	85
4.4.2 步长	86
4.4.3 拥挤度因子	87
4.4.4 人工鱼个体数目	89
4.5 改进的人工鱼群算法	90
4.5.1 基于步长和视野范围的改进	90
4.5.2 基于差分进化算子的改进	90
4.5.3 基于步长和差分进化算子的改进	91
4.5.4 仿真实验	93
4.5.5 算法性能评价	96
4.6 应用实例	111
4.6.1 人工鱼的行为规则	112
4.6.2 人工鱼行为规则的具体实现	114
4.6.3 基于鱼群集群行为的多UUV巡游策略的实现	115
4.6.4 基于鱼群觅食行为的多UUV搜寻目标策略	116

4.6.5 基于鱼群避障行为的多 UUV 避障策略	118
4.6.6 多水下无人潜航器巡游三维仿真及其可视化	121
4.7 本章小结	123
参考文献	123
第 5 章 蚁群算法	125
5.1 引言	125
5.2 蚁群路径规划原理	125
5.2.1 蚁群算法基本组织结构	125
5.2.2 基本蚁群算法的实现步骤	126
5.2.3 基本流程	127
5.3 数学模型	128
5.4 应用实例	129
5.4.1 基本蚁群算法参数对路径规划的影响	129
5.4.2 蚁群算法的参数取值方法	135
5.4.3 改进的蚁群算法	135
5.5 本章小结	143
参考文献	143
第 6 章 生物地理优化算法	145
6.1 引言	145
6.2 生物地理学与优化	145
6.2.1 起源	145
6.2.2 生物地理算法的迁移模型	147
6.2.3 基本的 BBO 的迁移操作	155
6.2.4 变异操作	158
6.2.5 优化问题测试	159
6.3 算法改进	163
6.3.1 BBOPSO 算法介绍	163
6.3.2 差分生物地理优化算法	169
6.4 基于生物地理学的机器人路径规划	179
6.4.1 生物地理学路径规划算法	179
6.4.2 算法参数对路径规划的影响	179
6.5 改进的生物地理学优化算法	182
6.5.1 精英策略	182
6.5.2 降维机制	184
6.5.3 基于惯性算子的迁移操作	185

6.6 实验结果比较	187
6.7 算法评价	191
6.7.1 稳定性分析	192
6.7.2 误差率分析	193
6.7.3 规划时间分析	194
6.7.4 鲁棒性分析	195
6.8 多目标算法生物地理优化算法	196
6.9 理论分析	200
6.9.1 收敛性分析	200
6.9.2 仿真实验与结果分析	203
6.10 约束多目标机器人路径规划	214
6.10.1 问题描述	215
6.10.2 机器人路径规划的实现	216
6.10.3 仿真结果分析	218
参考文献	221
第7章 磁性细菌优化算法	223
7.1 引言	223
7.2 趋磁性细菌基本的生物学概念	223
7.2.1 生物学原理	223
7.2.2 趋磁性细菌的生物学模型	225
7.2.3 趋磁性细菌优化算法	226
7.2.4 仿真结果	230
7.3 一种基于磁性细菌优化的功率谱算法	249
7.3.1 趋磁性细菌的生物学原理	249
7.3.2 PSMBA 的程序	251
7.3.3 仿真结果	253
参考文献	271
第8章 Memetic 算法	273
8.1 引言	273
8.2 起源和进展	273
8.2.1 算法的起源	273
8.2.2 算法研究进展	274
8.3 基本原理	275
8.3.1 基本思想	275
8.3.2 算法流程	276

8.3.3	Memetic 算法的可选方案	278
8.3.4	Memetic 算法的主要特点	280
8.4	应用实例	280
8.4.1	数字逻辑电路演化设计传统方法	281
8.4.2	用于数字逻辑电路演化设计的 Memetic 算法	282
8.4.3	实验验证与分析	287
8.5	较大规模电路演化实现	295
8.5.1	较大规模数字电路演化研究现状	296
8.5.2	基于电路映射分解方法的数字电路演化设计算法	296
8.5.3	实验验证与分析	301
8.6	本章小结	307
	参考文献	307
	附录	309

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

20 世纪 40~60 年代,随着人工智能的诞生和兴起,涌现出许多生物启发的计算方法,如众所周知的遗传算法(模拟生物进化)、神经网络模型(模拟人类大脑神经系统)、模糊系统(模拟人类思维)等。这些方法通过模拟隐含的生物机制,成功地解决许多领域中的问题。

计算就是符号的变换。从一个已知的符号串开始,按照一定的规则,一步一步地改变符号串,经过有限步骤,最后得到一个满足预先规定的符号串,这种变换的过程就是计算。与计算紧密联系的概念是算法,算法是求解某类问题的通用法则或方法,即符号变换的规则。人们通常把算法看成是用某种精确语言写成的程序。算法或程序的执行和操作就是计算。从算法的角度讲,一个问题是不是可计算的,与该问题是不是具有相应的算法是完全一致的^[1]。长期以来,算法和计算的概念一直与人类的认识活动相联系。

计算机带给人类思维的最大冲击莫过于将这些范畴泛化到了自然界。与经典计算理论相对,自然计算也称为非经典计算,包括许多不同的方法。多数是在更广泛的意义上或者受自然界启发或者利用自然界现象。

作为一个新的研究领域,自然计算一经提出就立即引起诸多领域专家学者的关注,成为一个跨学科的研究热点。它主要包含模糊集、粗糙集、人工神经网络、混沌和分形、演化计算、群体智能和人工免疫系统等多种智能模拟方法。这些智能模拟模型和技术方法各有其特点和优势、潜力与局限。例如,人工神经网络适合直接从数据中进行学习,但其推理能力不如模糊系统,知识的可理解性较差;演化计算很适合求解全局优化问题,也具有学习能力,但学习的精度不如神经网络,推理能力不如模糊系统;而模糊系统的学习能力又明显不如其他方法。要得到一种通用的智能模拟方法是非常困难的。因此,一方面,将多种方法进行融合,发挥各自的优势而弥补彼此的缺点是一个重要的研究方向,如模糊神经网络、模糊演化算法、演化人工神经网络、多种群智能计算的混合等方法的研究,都体现了相互融合的特点和趋势。另一方面,随着人们对自然界和生物智能研究和认识的深入,会有更多的新型自然计算方法出现,弥补现有方法的不足,更加高效地求解问题。

自然系统具有高度复杂性、非线性、并行性,隐含着比数字计算机更快地求解问题的能力。自然计算就是比喻性地使用自然系统潜在的概念、原理和机制发展

解决人类社会各种问题的理论和方法。在进化计算研究领域,国外学者自 20 世纪 60 年代提出进化计算的概念,1975 年 Holland 的著作具有划时代的意义,80 年代掀起了研究热潮;国内学者自 90 年代初开始演化计算的研究,近 15 年来展开了广泛研究并取得了丰硕成果。遗传算法、人工神经网络、模糊系统等经典方法从诞生至今已经各自演变成相对独立的人工智能研究领域,保持着长久不衰的生命力。特别是最近 20 年,有关进化计算的学术论文逐年增加,主要发表在 *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 和 *Evolutionary Computation* 等杂志,以及在 CEC、GECCO、PPSN、FOGA 和 EuroGP 等国际学术会议上。近年来,进化计算的研究已相对成熟,基本算法设计、基本理论研究方面趋于完善,一些基于演化原理的、为更好解决实际问题的算法,如多目标演化算法、协同演化算法、约束优化演化算法等,以及将演化计算与神经网络等方法、技术相结合引起了研究者广泛的兴趣,掀起了世界范围内的研究热潮。近年来,国内学者在国际重要刊物和会议上发表的论文数量逐年增加;在国内重要学术刊物上发表的论文从数量到质量都达到了比较高的水平,并出版了一系列有关演化计算方面的著作。

自然计算是受自然界生物、物理或者其他机制启发而提出的解决各种工程和方法的计算方法^[2]。在过去的半个多世纪,人们已经借鉴生命系统开发了许多受自然启发的计算方法用来解决复杂的优化计算问题。最先由 Holland 提出的遗传算法在工程中已经成为标准优化工具^[3]。

自然计算的灵感来源是多种多样的,覆盖了从生物学到化学,从宏观世界到微观世界几乎所有的自然系统。所有这些方法都是针对不同问题而设计的启发式算法及数值直接搜索优化方法。虽然已经有很多方法,但是没有通用的算法能很好地解决所有可能出现的问题,因此开发新的算法解决问题对我们来说仍是必要的。一般情况下,我们可以把优化算法的开发分成两类,即启发式优化算法和元启发式优化算法。启发式与元启发式的不同在于前者是为具体问题量身定做的,它们也许能很好地求解某些问题,但对于其他问题的求解可能会给出较差的结果。另一方面,(精心设计的)元启发式算法可以应用到更广泛的问题,并产生具有良好性能的解。但即使它们在解决许多优化问题时取得了巨大成功,我们也永远不会满足现有的元启发式算法,正如上面提到的那些。根据没有免费的午餐定理(NFL 定理),当平均超过所有可能的目标函数时,所有搜索极值的元启发式算法性能是相同的。

在求解计算问题时,从统计学上来说,所有元启发式算法的表现是相同的。通常,在所有可能的优化问题上,没有一种算法能够一直优于其他算法,然而在某个特定问题上这种一直优于其他算法的情况仍然是可能的,后来成功的元启发式算法就是指那些受 NFL 定理约束,并且能成功求解问题的算法。因此,如果我们能证明一种新的优化搜索策略能在许多问题上有效工作,那么它的产生就是有意义

的,这有助于开拓新的优化领域,而且新的优化方法可能会很好地求解目前仍未解决的问题。

在经典进化计算发展的基础上,20世纪80年代以来,越来越多的自然启发的计算方法不断出现。其中,群体智能算法与进化计算是最有影响的两类自然计算方法。目前,比较新颖的群体智能方法包括蚁群优化算法^[4]、粒子群算法^[5]、免疫算法(IA)^[6]、人工蜂群算法^[7]、人工鱼群算法^[8]、细菌算法^[9]、生态算法^[10]、入侵杂草优化算法^[11]、猴群搜索^[12]、生物地理优化算法^[13]、人类搜索优化^[14]、人工萤火虫优化^[15]、烟花算法^[16]、克隆选择算法^[17]等。除了上面提到的群体优化方法,受生物或物理启发的算法还有模拟退火算法^[18]、头脑风暴优化算法^[19]、文化算法^[20]、膜计算^[21]、智能水滴算法^[22]、磁场优化算法^[23]、蛋白质计算(PC)^[24]、以及化学反应优化^[25]等。但毫无疑问,从算法发展的角度看,进化计算是所有上述算法思想的源头^[26]。

1.2 自然计算类型

自然计算从启发源看,上述所有算法可以分成三大类:生物启发的计算,包括人工神经网络、模糊系统、进化算法、生物群智能、人工免疫系统等受各种生物系统启发而设计的多种算法,生物启发的计算具有灵活性,能够应用于不同问题,具有鲁棒性(能够处理噪声和不确定性)、适应性(能处理动态环境下问题)、自治性(不需要人工干预)、分布式(没有中心的控制);受物理现象或规律启发的计算,包括重力搜索算法^[27]、量子计算^[28]、磁场优化算法等;利用化学反应过程实现问题求解。物理启发的计算和化学反应计算具有高度并行性,计算效率极高。如果我们从广义的角度把人类社会及思维看做是自然界生物的一部分,则受人类社会启发的计算也应该看做是自然计算的一部分,如智能主体、形式语言等。社会启发的计算具有较高的智能性。

今天,人们对自然计算有了更系统地认识。自然计算的内容扩展如图1.1所示,主要包括三方面^[29]。

① 受自然启发,模拟一种或几种自然现象或机制的算法,用现代计算机高级编程语言来实现,应用范围广泛。

② 利用现代计算机建立自然系统的模型和仿真系统,研究自然界及生物本身,如人工生命、人工植物。

③ 利用生物或物理、化学性能或机制设计能够突破冯氏计算机结构限制的装置、设备,如分子计算机、生物计算机、量子计算机、光子计算机等。

表1.1给出了目前主要的自然计算类型与启发源。当然没有包含所有的自然计算方法,而且也没有排除未来出现的新算法^[29]。

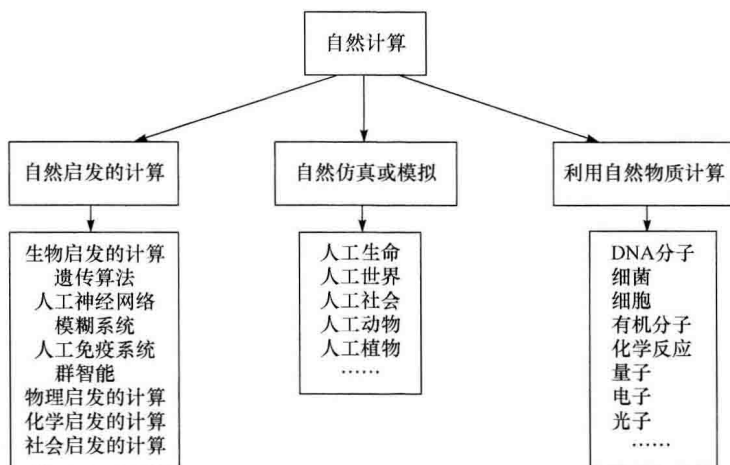


图 1.1 自然计算的内容与形式

从人类认知角度看,目前的主要自然计算方法已经涵盖了人类认知的各个领域,包括自然与人类社会,生命系统与物理、化学过程。

从启发源范围看,涵盖了宏观系统(生物进化、大脑神经系统)和微观系统(细胞膜、量子、光子、化学分子)等认知尺度。从系统角度看,包括简单系统(如鸟群)和复杂系统(如免疫系统、社会文化)。

从实现角度看,多数自然计算方法利用高级程序设计语言在现代计算机上实现,而 DNA 计算、量子计算,以及化学计算的出现在算法的实现手段上实现了革命性突破,直接利用分子操作实现计算已经成为现实,而不是基于传统的二进制计算机实现。这必将引发计算机的革命,分子计算机、量子计算机的出现及应用随着人类技术的进步是指日可待的。

从自然计算要素角度看,每种自然计算方法都要对应一种实际的启发源,无论是自然还是社会的,其次要将启发源中包含的内在的特殊规律,如生物进化规律等,利用数学或逻辑符号描述成一种特殊计算过程。

从从事研究的人员角度看,一旦形成某种特殊的算法,这些算法的计算复杂性、动力学性能、计算效率,以及算法的应用范围等都成为自然计算研究人员的研究对象,而启发源本身则不再成为研究重点。这也是为什么从事自然计算的人员不必是生物学家、分子学家、化学家,甚至物理学家的原因,而只需有扎实的数学基础理论及掌握计算机程序设计方法就可以从事自然计算研究。事实上,多数最初的自然计算方法都是相应的启发源领域内的专家提出设想甚至亲自实现的,引起计算机科学领域的研究人员重视,而后才形成一个新的计算机科学的研究方向或领域。

表 1.1 自然计算启发源与要素

启发源属性	自然计算	系统	元素
生命	神经计算	神经网络	神经元
	免疫计算	免疫系统	抗体
	内分泌计算	内分泌系统	分子
	细胞计算	细胞自动机	细胞
	细胞膜计算	细胞膜	离子
	DNA 计算	DNA 双螺旋	分子
	蛋白质计算	蛋白质	分子
	进化计算	遗传系统	基因积木块
	蚁群计算	蚁群	蚂蚁
	粒子群计算	鸟群	鸟
			
社会与文化	形式语言	自然语言 左脑半球	字符
	模糊	大脑	脑神经
	文化算法	社会文化	文化符号
	主体	社会相互作用	主体
			
物理与化学	量子计算	原子	量子
	光子计算	光	光子
	模拟退火算法	退火	原子
	化学计算	化学反应	分子
			

众所周知,自然界的事件是在自然规律作用下的过程,因此特定的自然规律实际上就是特定的算法。特定的自然过程实际上就是执行特定的自然“算法”的一种“计算”^[1]。这样看来,在人类所认知的世界中存在形形色色的“自然计算机”。从这个观点出发,上述种类繁多自然计算就是可以理解的了,而且可以预言,随着人类对自然规律认识的深入和扩展,必将出现越来越多的自然计算方法。可以说,自然界就是一台巨型自然计算机。任何一种自然过程都是自然规律作用于一定条件下的物理或信息过程,其本质都体现了一种严格的计算和算法特征。

因此,可以总结出自然计算规律:自然系统(各种启发源)相当于自然计算的硬件、自然规律(各种启发源的内在运行规律)相当于自然计算的软件,而自然过程(各种启发源在规律支配下的发展)就是算法计算或运行过程^[30]。由此可见,自然计算的出现证明和体现了自然的计算本质。自然就是日夜不停执行各种运算的超

级计算机。

生命系统作为自然界中最复杂、最有特色的系统,也就是形形色色的自然计算机中的一种。因此,从生命系统中抽象出人工神经网络、模糊逻辑、免疫算法、内分泌计算、进化计算、粒子群算法等就是这种自然计算规律的直接体现和有力证明。所有自然计算的具体方法都是自然界生命或物理、化学运算过程在人类社会生产实践中的映射。

1.3 计算主义

世界的可计算性是西方毕达哥拉斯主义传统,毕达哥拉斯认为世界是由数构成的,一切产生于数,一切复归于数。正因为世界是由数构成的,因此原则上世界是可计算的。世界的可计算性这种思想长期以来一直成为西方科学技术研究的内在精神之一,发现世界内在的数的规律是人们孜孜以求的目标。伽利略就认为自然界是一本由数学写成的书。确实,真实世界的对象由时间、位置、能量等这样一些可直接观察的量所组成。如果人们把握了自然界中这些数的关系,那么对自然界的认识就达到了既定的认知目标。为了从数的关系上把握自然界,人们发明了数学符号系统,试图用这种符号系统来再现自然界^[31]。

地球上的生物系统,通过协同进化保证生态系统的平衡和稳定,使地球上的生物都能够继续生存并稳定发展。免疫机能就是个体生物通过遗传信息获得的能适应外界环境,并且能与其他生物共同生存的主要工具。生物圈是一个巨大的复杂适应系统,充满随机、非线性的混沌活动。整个免疫系统主要由“抗原”和“抗体”两个基本成分。物种通过自组织与进化过程,在个体生物中预先部署了完美的信息反馈和调控活动的程序,使个体生物通过遗传就能获得一部能够紧急应变、随时应付突发事件的免疫系统,实际上就是一个先天具有认知能力的智能系统。目前,计算机系统的设计是希望能够拥有很多相对较简单的部件,而每个部件能够做一些简单的事情,如果部件的集合能够实现自组织演化,整个部件组成的网络就能计算和处理非常复杂的东西。这就是生物界免疫系统的活动模式,也是人类的大脑正在认识和学习遗传信息的活动模式。

目前人们常用算法复杂性或计算复杂性、有效复杂性等概念概括与描述长度相关的认识复杂性。算法信息量或算法复杂性是计算机专家用来描述事物的计算机程序信息串的长度,它的基本思想是用描述长度来定义描述的复杂性。如果一个事物包含的信息是很难获得的,那么它就是复杂的。算法复杂性是香农语法信息意义下的复杂性,不能包括意义中含混、歧义等语用成分,对有效复杂性的理解描述是不完全的。未来人们也许会利用算法复杂性和计算复杂性、算法信息量等概念描述自然与生命的复杂性,描述自然与生命中信息的信息量。