

WILEY

应用数学译丛

Evolutionary Optimization Algorithms
Biologically Inspired and Population-Based Approaches to Computer Intelligence

进化优化算法
基于仿生和种群的计算机智能方法

[美] 丹·西蒙 著
陈曦 译



清华大学出版社

应用数学译丛

Evolutionary Optimization Algorithms
Biologically Inspired and Population-Based Approaches to Computer Intelligence

进化优化算法
基于仿生和种群的计算机智能方法

[美] 丹·西蒙 著
陈曦 译

清华大学出版社
北京

Copyright © 2013 by John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved.

This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled *Evolutionary Optimization Algorithms: Biologically Inspired and Population-Based Approaches to Computer Intelligence*, ISBN: 978-0-470-93741-9, by Dan Simon, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

This edition is published by arrangement with **Blackwell Publishing Ltd**, Oxford.

Translated by **Tsinghua University Press** from the original English language version. Responsibility of the accuracy of the translation rests solely with **Tsinghua University Press** and is not the responsibility of **Blackwell Publishing Ltd**.

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2016-5730

本书封面贴有 **John Wiley** 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

进化优化算法: 基于仿生和种群的计算机智能方法 / (美) 丹·西蒙 (Dan Simon) 著; 陈曦译. —北京: 清华大学出版社, 2018

(应用数学译丛)

书名原文: *Evolutionary Optimization Algorithms: Biologically Inspired and Population-Based Approaches to Computer Intelligence*

ISBN 978-7-302-51605-7

I. ①进… II. ①丹… ②陈… III. ①电子计算机—最优化算法 IV. ①TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 257275 号

责任编辑: 刘颖

封面设计: 常雪影

责任校对: 赵丽敏

责任印制: 丛怀宇

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

社总机: 010-62770175

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

印装者: 三河市铭诚印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 40.25

字 数: 926 千字

版 次: 2018 年 12 月第 1 版

印 次: 2018 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 118.00 元



产品编号: 069079-01

译者前言

常规的优化算法,如线性规划、二次规划和凸优化,通常要求优化问题具有凸性,但我们遇到的很多实际问题却常常是非凸的.对于多阶段决策问题,常用的动态规划方法能找到最优解,但因其计算量会随着问题的规模呈指数增长,它们并不适合规模较大的问题.而基于种群的进化优化算法虽然不能保证找到问题的最优解,但对问题的性质和规模没有限制和要求,因此具有广泛的适用性. Nils Barricelli 在 1953 年提出遗传算法,在那之后的半个多世纪中,人们基于生物的行为、自然现象甚至社会现象得到的启发,提出了各种各样的进化算法并将它们用于解决实际问题.值得一提的是,进化算法在人工智能和机器学习中一直发挥着重要的作用.

无论在国内还是在国外,都已经出版了很多关于进化算法的专著,本书的优胜之处在于它既全面而系统地介绍了进化算法的历史和方法,又指出了进一步研究的方向,还针对各类优化问题,如约束优化、多目标优化和组合优化,提出了进化算法的解决方案并阐述处理问题的技巧,这些技巧并非只适用于进化优化,我们在用其他方法寻优时也经常用到.

感谢杨卓同学为译本重新绘图.感谢叶永洪、卞爱哲和韩广泓三位同学阅读译稿的部分章节并提出修改意见.感谢出版社的刘颖老师校对公式,修订向量及矩阵的表示方式并提出修改意见.感谢出版社编辑的审核和修改.

本书的翻译工作得到国家重点研发计划(2016YFB0901901, 2017YFC0704101)的资助,特此致谢.

译本中存在的错漏或不妥之处,责任概由译者承担,同时也恳请读者批评指正.

陈曦

2018年8月 北京清华园

致 谢

进化算法是一个令人着迷的研究领域,我涉足其间已有 20 年,感谢多年来为我的研究提供资助的每一位人士: TRW 系统集成组的 Hossny El-Sherief, TRW 汽车安全系统的 Dorin Dragotoni, NASA Glenn 控制和动力学部门的 Sanjay Garg 和 Donald Simon, 福特汽车公司的 Dimitar Filev, 克利夫兰医学中心的 Brian Davis 和 William Smith, 国家自然科学基金和克利夫兰州立大学. 还要感谢和我一起工作, 在进化算法领域发表论文的学生和同事: Jeff Abell, Dawei Du, Mehmet Ergezer, Brent Gardner, Boris Igel, Paul Lozovyy, Haiping Ma, Berney Montavon, Mirela Ovreiu, Rick Rarick, Hanz Richter, David Sadey, Sergey Samorezov, Nina Scheidegger, Arpit Shah, Steve Szatmary, George Thomas, Oliver Tiber, Tonvanden Bogert, Arun Venkatesan 和 Tim Wilmot. 最后, 我想感谢阅读这些材料的初稿并给我许多有用建议的人士: Emile Aarts, Dan Ashlock, Forrest Bennett, Hans-Georg Beyer, Maurice Clerc, Carlos Coello Coello, Kalyanmoy Deb, Gusz Eiben, Jin-Kao Hao, Yaochu Jin, Pedro Larranaga, Mahamed Omran, Kenneth V. Price, Hans-Paul Schwefel, Thomas Stützle, Hamid Tizhoosh, Darrell Whitley. 还要感谢评审本书最初的出版计划的三位匿名评阅人. 这些评阅人不一定赞同这本书, 但他们的建议和评论帮助我提升本书的品质.

丹·西蒙 (Dan Simon)

缩 写

ABC	人工蜂群
ACM	自适应文化模型
ACO	蚁群优化
ACS	蚁群系统
ADF	自动定义的函数
AFSA	人工鱼群算法
AS	蚂蚁系统
ASCHEA	自适应分离约束处理进化算法
BBO	基于生物地理学的优化
BFOA	细菌觅食优化算法
BMDA	二元边缘分布算法
BOA	贝叶斯优化算法
CA	文化算法
CAEP	受文化算法影响的进化规划
CEC	进化计算大会
cGA	紧致遗传算法
CMA-ES	协方差阵自适应进化策略
CMSA-ES	协方差阵自身自适应进化策略
COMIT	优化与互信息树结合
CX	循环交叉
DACE	计算机实验的设计与分析
DAFHEA	基于动态近似适应度的混合进化算法
DE	差分进化
DEMO	多样性多目标进化优化器
ϵ -MOEA	基于 ϵ 的多目标进化算法
EA	进化算法
EBNA	贝叶斯网络估计算法
ECGA	扩展紧致遗传算法

EDA	分布估计算法
EGNA	高斯网络估计算法
EMNA	多元正态估计算法
EP	进化规划
ES	进化策略
FDA	因子化分布算法
FIPS	完全知情的粒子群
FSM	有限状态机
GA	遗传算法
GP	进化规划
GSA	引力搜索算法
GSO	群搜索优化器
hBOA	分层贝叶斯优化算法
HCwL	学习爬山法
HLGA	Hajela-Lin 遗传算法
HS	和声搜索
HSI	生境适宜度指数
IDEA	迭代密度估计算法
IDEA	不可行性驱动的进化算法
IUMDA	增量一元边缘分布算法
MMAS	最大最小蚂蚁系统
MMES	多元进化策略
MIMIC	输入聚类的互信息最大化
MOBBO	基于生物地理学的多目标优化
MOEA	多目标进化算法
MOGA	多目标遗传算法
MOP	多目标优化问题
MPM	边缘积模型
$N(\mu, \sigma^2)$	均值为 μ 方差为 σ^2 的正态分布
$N(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$	均值为 $\boldsymbol{\mu}$ 协方差为 $\boldsymbol{\Sigma}$ 的多元正态分布
NFL	没有免费午餐
NPBBO	小生境帕雷托基于生物地理学优化
NPGA	小生境帕雷托遗传算法
NPSO	负强化的粒子群优化
NSBBO	非支配排序基于生物地理学优化
NSGA	非支配排序遗传算法

OBBO	反向的基于生物地理学优化
OBL	反向学习
OBX	基于顺序交叉
OX	顺序交叉
PAES	帕雷托归档进化策略
PBIL	基于种群的增量学习
PDF	概率密度函数
PID	比例积分微分
PMBGA	概率建模遗传算法
PMX	部分匹配交叉
PSO	粒子群优化
RMS	均方根
RV	随机变量
SA	模拟退火
SBX	模拟二进制交叉
SAPF	自身自适应罚函数
SCE	混合复杂进化
SEMO	简单多目标进化优化器
SFLA	混合蛙跳算法
SGA	随机梯度上升
SHCLVND	由正态分布向量学习的随机爬山法
SIV	适应度指数变量
SPBBO	优势帕雷托基于生物地理学优化
SPEA	优势帕雷托进化算法
TLBO	基于教学的优化
TS	禁忌搜索
TSP	旅行商问题
$U[a, b]$	在域 $[a, b]$ 上均匀分布的概率密度函数. 可为连续的也可为离散的, 根据上下文确定
UMDA	一元边缘分布算法
UMDA _c ^G	连续高斯一元边缘分布算法
VEBBO	向量评价基于生物地理学优化
VEGA	向量评价遗传算法

目 录

致谢.....	17
缩写.....	19
第一篇 进化优化引论.....	1
第 1 章 绪论.....	3
1.1 术语.....	3
1.2 又一本关于进化算法的书.....	5
1.3 先修课程.....	5
1.4 家庭作业.....	6
1.5 符号.....	6
1.6 本书的大纲.....	8
1.7 基于本书的课程.....	8
第 2 章 优化.....	10
2.1 无约束优化.....	10
2.2 约束优化.....	13
2.3 多目标优化.....	14
2.4 多峰优化.....	15
2.5 组合优化.....	16
2.6 爬山法.....	18
2.6.1 有偏优化算法.....	21
2.6.2 蒙特卡罗仿真的重要性.....	21
2.7 智能.....	22
2.7.1 自适应.....	22
2.7.2 随机性.....	22
2.7.3 交流.....	23
2.7.4 反馈.....	23
2.7.5 探索与开发.....	24
2.8 总结.....	24
习题.....	25

第二篇 经典进化算法	29
第 3 章 遗传算法	31
3.1 遗传学的历史	32
3.1.1 查尔斯·达尔文	32
3.1.2 格雷戈尔·孟德尔	33
3.2 遗传学	34
3.3 遗传算法的历史	36
3.4 一个简单的二进制遗传算法	38
3.4.1 用于机器人设计的遗传算法	38
3.4.2 选择与交叉	39
3.4.3 变异	42
3.4.4 遗传算法的总结	42
3.4.5 遗传算法的参数调试及其例子	43
3.5 简单的连续遗传算法	47
3.6 总结	50
习题	51
第 4 章 遗传算法的数学模型	53
4.1 图式理论	54
4.2 马尔可夫链	57
4.3 进化算法的马尔可夫模型的符号	61
4.4 遗传算法的马尔可夫模型	64
4.4.1 选择	64
4.4.2 变异	65
4.4.3 交叉	66
4.5 遗传算法的动态系统模型	69
4.5.1 选择	69
4.5.2 变异	71
4.5.3 交叉	73
4.6 总结	77
习题	78
第 5 章 进化规划	80
5.1 连续进化规划	80
5.2 有限状态机优化	83
5.3 离散进化规划	86
5.4 囚徒困境	87

5.5	人工蚂蚁问题	90
5.6	总结	93
	习题	94
第 6 章	进化策略	96
6.1	(1 + 1) 进化策略	97
6.2	1/5 规则: 推导	100
6.3	($\mu + 1$) 进化策略	103
6.4	($\mu + \lambda$) 和 (μ, λ) 进化策略	105
6.5	自身自适应进化策略	107
6.6	总结	112
	习题	112
第 7 章	遗传规划	114
7.1	LISP: 遗传规划的语言	115
7.2	遗传规划的基础	120
7.2.1	适应度的度量	120
7.2.2	终止准则	121
7.2.3	终止集合	121
7.2.4	函数集合	122
7.2.5	初始化	123
7.2.6	遗传规划的参数	125
7.3	最短时间控制的遗传规划	127
7.4	遗传规划的膨胀	132
7.5	演化实体而非计算机程序	133
7.6	遗传规划的数学分析	135
7.6.1	定义和记号	135
7.6.2	选择和交叉	136
7.6.3	变异和最后结果	139
7.7	总结	140
	习题	142
第 8 章	遗传算法的变种	145
8.1	初始化	145
8.2	收敛准则	146
8.3	用格雷编码表示问题	148
8.4	精英	150
8.5	稳态与代际算法	152

8.6	种群多样性	153
8.6.1	重复个体	154
8.6.2	基于小生境和基于物种的重组	154
8.6.3	小生境	156
8.7	选择方案	160
8.7.1	随机遍历采样	160
8.7.2	超比例选择	162
8.7.3	Sigma 缩放	162
8.7.4	基于排名选择	164
8.7.5	线性排名	164
8.7.6	锦标赛选择	166
8.7.7	种马进化算法	167
8.8	重组	168
8.8.1	单点交叉 (二进制或连续进化算法)	169
8.8.2	多点交叉 (二进制或连续进化算法)	169
8.8.3	分段交叉 (二进制或连续进化算法)	169
8.8.4	均匀交叉 (二进制或连续进化算法)	170
8.8.5	多父代交叉 (二进制或连续进化算法)	170
8.8.6	全局均匀交叉 (二进制或连续进化算法)	171
8.8.7	洗牌交叉 (二进制或连续进化算法)	171
8.8.8	平交叉和算术交叉 (连续进化算法)	171
8.8.9	混合交叉 (连续进化算法)	172
8.8.10	线性交叉 (连续进化算法)	172
8.8.11	模拟二进制交叉 (连续进化算法)	172
8.8.12	小结	173
8.9	变异	173
8.9.1	以 $x_i(k)$ 为中心的均匀变异	173
8.9.2	以搜索域的中央为中心的均匀变异	174
8.9.3	以 $x_i(k)$ 为中心的高斯变异	174
8.9.4	以搜索域的中央为中心的高斯变异	174
8.10	总结	174
	习题	175
第三篇 较新的进化算法		179
第 9 章 模拟退火		181
9.1	自然退火	181
9.2	简单的模拟退火算法	183

9.3	冷却调度	184
9.3.1	线性冷却	184
9.3.2	指数冷却	185
9.3.3	逆冷却	185
9.3.4	对数冷却	187
9.3.5	逆线性冷却	188
9.3.6	依赖于维数的冷却	190
9.4	实施的问题	192
9.4.1	候选解的生成	192
9.4.2	重新初始化	193
9.4.3	记录最好的候选解	193
9.5	总结	193
	习题	194
第 10 章	蚁群优化	196
10.1	信息素模型	198
10.2	蚂蚁系统	200
10.3	连续优化	204
10.4	其他蚂蚁系统	207
10.4.1	最大最小蚂蚁系统	207
10.4.2	蚁群系统	208
10.4.3	更多的蚂蚁系统	211
10.5	理论结果	212
10.6	总结	212
	习题	213
第 11 章	粒子群优化	215
11.1	基本粒子群优化算法	216
11.2	速度限制	219
11.3	惯性权重与压缩系数	220
11.3.1	惯性权重	220
11.3.2	压缩系数	222
11.3.3	粒子群优化的稳定性	223
11.4	全局速度更新	226
11.5	完全知情的粒子群	229
11.6	从错误中学习	231
11.7	总结	234
	习题	234

第 12 章 差分进化	237
12.1 基本差分进化算法	237
12.2 差分进化的变种	239
12.2.1 试验向量	240
12.2.2 变异向量	242
12.2.3 比例因子的调整	245
12.3 离散优化	246
12.3.1 混合整数差分进化	247
12.3.2 离散差分进化	248
12.4 差分进化与遗传算法	248
12.5 总结	250
习题	250
第 13 章 分布估计算法	252
13.1 分布估计算法: 基本概念	253
13.1.1 简单的分布估计算法	253
13.1.2 统计量的计算	253
13.2 一阶分布估计算法	254
13.2.1 一元边缘分布算法	254
13.2.2 紧致遗传算法	256
13.2.3 基于种群的增量学习	259
13.3 二阶分布估计算法	261
13.3.1 输入聚类互信息最大化	261
13.3.2 优化与互信息树结合	266
13.3.3 二元边缘分布算法	271
13.4 多元分布估计算法	273
13.4.1 扩展紧致遗传算法	273
13.4.2 其他多元分布估计算法	276
13.5 连续分布估计算法	276
13.5.1 连续一元边缘分布算法	277
13.5.2 基于增量学习的连续种群	278
13.6 总结	281
习题	282
第 14 章 基于生物地理学的优化	284
14.1 生物地理学	285
14.2 生物地理学是一个优化过程	288
14.3 基于生物地理学优化	290
14.4 BBO 的扩展	293
14.4.1 迁移曲线	293

14.4.2	混合迁移	294
14.4.3	BBO 的其他方法	296
14.4.4	BBO 与遗传算法	298
14.5	总结	299
习题	302
第 15 章	文化算法	304
15.1	合作与竞争	305
15.2	文化算法中的信仰空间	307
15.3	文化进化规划	309
15.4	自适应文化模型	311
15.5	总结	316
习题	317
第 16 章	反向学习	318
16.1	反向的定义和概念	318
16.1.1	反射反向和模反向	319
16.1.2	部分反向	320
16.1.3	1 型反向和 2 型反向	321
16.1.4	准反向和超反向	321
16.2	反向进化算法	322
16.3	反向概率	326
16.4	跳变比	329
16.5	反向组合优化	331
16.6	对偶学习	333
16.7	总结	334
习题	335
第 17 章	其他进化算法	337
17.1	禁忌搜索	337
17.2	人工鱼群算法	338
17.2.1	随机行为	339
17.2.2	追逐行为	340
17.2.3	聚集行为	340
17.2.4	搜索行为	340
17.2.5	跳跃行为	340
17.2.6	人工鱼群算法概要	341
17.3	群搜索优化器	342
17.4	混合蛙跳算法	344

17.5	萤火虫算法	346
17.6	细菌觅食优化	347
17.7	人工蜂群算法	350
17.8	引力搜索算法	352
17.9	和声搜索	353
17.10	基于教学的优化	355
17.11	总结	358
	习题	359
第四篇 优化问题的特殊类型		361
第 18 章	组合优化	363
18.1	旅行商问题	364
18.2	旅行商问题的初始化	365
18.2.1	最近邻初始化	365
18.2.2	最短边初始化	367
18.2.3	嵌入初始化	367
18.2.4	随机初始化	369
18.3	旅行商问题的表示与交叉	369
18.3.1	路径表示	369
18.3.2	邻接表示	372
18.3.3	顺序表示	375
18.3.4	矩阵表示	376
18.4	旅行商问题的变异	379
18.4.1	反转	379
18.4.2	嵌入	379
18.4.3	移位	379
18.4.4	互换	380
18.5	旅行商问题的进化算法	380
18.6	图着色问题	384
18.7	总结	387
	习题	387
第 19 章	约束优化	389
19.1	罚函数法	390
19.1.1	内点法	390
19.1.2	外点法	391
19.2	处理约束的常用方法	393
19.2.1	静态惩罚方法	393

19.2.2	可行点优势	393
19.2.3	折中进化算法	394
19.2.4	协同进化惩罚	395
19.2.5	动态惩罚方法	396
19.2.6	自适应惩罚方法	397
19.2.7	分离遗传算法	398
19.2.8	自身自适应的适应度描述	398
19.2.9	自身自适应罚函数	399
19.2.10	自适应分离约束处理	400
19.2.11	行为记忆	401
19.2.12	随机排名	402
19.2.13	小生境惩罚方法	403
19.3	特殊表示与特殊算子	403
19.3.1	特殊表示	404
19.3.2	特殊算子	405
19.3.3	Genocop	406
19.3.4	Genocop II	407
19.3.5	Genocop III	407
19.4	约束优化的其他方法	409
19.4.1	文化算法	409
19.4.2	多目标优化	409
19.5	候选解的排名	410
19.5.1	最大违反约束排名	410
19.5.2	约束次序排名	410
19.5.3	ϵ -水平比较	411
19.6	处理约束方法的比较	412
19.7	总结	414
	习题	416
第 20 章	多目标优化	418
20.1	帕雷托最优性	419
20.2	多目标优化的目标	423
20.2.1	超体积	424
20.2.2	相对覆盖度	427
20.3	基于非帕雷托的进化算法	427
20.3.1	集结方法	427
20.3.2	向量评价遗传算法	429
20.3.3	字典排序	430