

广东省体育局软科学课题 (YT11053) 最终结项成果
广州市属高校科技计划资助项目 (2012A162) 最终结项成果

赵立江 著

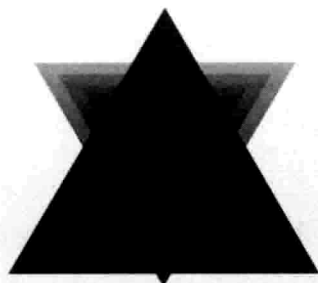
IEC算法及其 在多目标优化中的应用

Interactive Genetic
Algorithm



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

赵立江 著



IEC算法及其 在多目标优化中的应用

Interactive Genetic
Algorithm



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

IEC 算法及其在多目标优化中的应用/赵立江著. —广州: 暨南大学出版社, 2014. 6

ISBN 978 - 7 - 5668 - 0933 - 9

I. ①I… II. ①赵… III. ①数学模型—最优化算法—研究
IV. ①O242. 23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 034606 号

IEC 算法及其在多目标优化中的应用

出版发行 暨南大学出版社 (广州暨南大学 邮编: 510630)
电 话 总编室 (8620)85221601
营销部 (8620)85225284 85228291 85228292 (邮购)
排 版 广州市科普电脑印务部
印 刷 佛山市浩文彩色印刷有限公司
开 本 880mm × 1230mm 1/32
印 张 5.25
字 数 109 千
版 次 2014 年 6 月第 1 版
印 次 2014 年 6 月第 1 次
定 价 18.00 元



(暨大版图书如有印装质量问题, 请与出版社总编室联系调换)

前 言

近年来，随着智能决策与人工智能技术的发展，一种具有人机交互机制的交互式进化计算（Interactive Evolutionary Computation, IEC）算法在解决决策领域中，不确定隐性目标优化问题方面表现较大的优势，自 20 世纪 80 年代以来就引起国内外研究者的广泛关注。它以人的智能评价作为进化个体的适应度准则，在变量空间向人的心理空间映射的基础上，实现人与算法的交互作用，目前已在图形图像、艺术设计、工业控制等领域成功应用。然而，目前 IEC 中的交互式控制研究者却面临着以下四个研究难点：①适应值具有噪声；②人的偏好随着评价而不断调整；③IEC 要求在种群规模小、进化代数少的情况下使用，造成进化效率低下；④用户疲劳问题。它们导致了 IEC 优化性能低下，成为制约 IEC 应用发展的瓶颈问题。

所以，如何结合当前的人工智能等技术，以解决 IEC 的进化效率问题和用户的疲劳问题，是一项颇具挑战性的工作，具有重要的理论意义与应用价值。

本书在组织结构上分为八个章节，主要内容介绍如下：

第 1 章主要介绍交互式遗传算法的基本概念、应用领域及其核心问题，并列出国内外有关研究机构的网址，以供读者参考和深入跟踪相关研究内容的细节。第 2 章对目前的各种多目标进化算法进行系统划分，对主要算法的大致结构和优缺点进行阐述和比较。第 3 章结合交互式遗传

算法的求解特点,介绍了隐性目标决策问题方案的进化求解模型。第4章阐述了交互式遗传算法的噪声以及用于降噪的进化个体适应值调整策略。第5章简要说明了基于用户偏好的协同交互式遗传算法的思想依据,用户偏好的抽取、存储及偏好相似用户的寻找,算法系统结构等。第6章介绍了多种群自适应分层交互式遗传算法,包括算法思想、多种群模型、近亲交叉回避、自适应单点变异、分层等。第7章阐述基于多智能体系统的协同进化交互式遗传算法的思想依据,算法模型(包括模型组成、交互式遗传算法单元和协同进化单元的功能描述),模型各组件的语义描述和派生关系等。第8章介绍并讨论了IEC交互式遗传算法在竞技体育技术动作优化中的应用问题。

在本书撰写过程中得到了许多同事和朋友的帮助:江苏师大的黄永青博士、郝国生博士提供了他们最新研究成果的第一手资料。刘玉龙教授、赵向军教授、赵淦森教授为本书提出了许多宝贵建议。广州市体工队的钟成灿教练、刘治立教练提供了实验所需的数据。此外还得到了省体育局朱跃夫主任及广州体职院周同博士、冯骏杰博士、伍晓峰、吴保安等老师的诸多建议,开拓了笔者的视野。

在此还要感谢我的妻子刘文娜女士多年来的关心与支持,感谢她对本书的文献收集及实验数据分析所做的工作。暨南大学出版社的古碧卡女士和高洵女士为本书出版做了大量辛苦细致的工作,值此出版之际一并表示感谢。

本书可以作为决策管理、人工智能等专业领域的本科生、研究生和科研人员的一本入门参考书。

赵立江

2014年1月25日

目 录

前 言	1
1 绪 论	
1.1 引 言	1
1.2 交互式进化算法的研究现状	3
1.2.1 IEC 的理论研究	3
1.2.2 IEC 的应用研究	3
1.3 交互式遗传算法研究的核心问题	6
1.3.1 IEC 与适应值噪声	7
1.3.2 IEC 与用户偏好获取模型	10
1.3.3 IEC 的进化效率及用户疲劳问题	12
1.4 本章小结	13
参考文献	14
2 主要的多目标进化算法	
2.1 常见的多目标进化算法	20
2.1.1 算法分类	22
2.1.2 选择机制	23

2.2 隐式积木块类型算法	30
2.2.1 向量评估遗传算法 (VEGA)	34
2.2.2 多目标遗传算法 (MOGA)	35
2.2.3 小生境 Pareto 遗传算法 (NPGA)	37
2.2.4 非劣分类遗传算法 (NSGA)	40
2.2.5 孟德尔多目标简单遗传算法 (MMOSGA)	42
2.2.6 微遗传算法 (micro-GA)	43
2.2.7 Pareto 存档进化策略 (PAES)	44
2.2.8 强度 Pareto 进化算法 (SPEA)	48
2.2.9 Pareto 包络选择算法 (PESA)	50
2.2.10 多目标遗传局部搜索算法 (MOGLSA)	51
2.3 显式积木块类型算法	52
2.3.1 多目标杂乱遗传算法 (MOMGA)	53
2.3.2 改进型多目标杂乱遗传算法 (MOMGA-II)	55
参考文献	56

3 隐性目标决策问题的求解方法基础

3.1 隐性目标决策问题的提出	58
3.2 遗传算法概述	61
3.2.1 遗传基本概念	62
3.2.2 适应度函数	63
3.2.3 编码与解码	65
3.2.4 遗传算子与控制参数 x	67
3.2.5 基本遗传算法过程	72

3.3 隐性目标决策问题的进化求解模型	74
3.3.1 隐性目标决策问题的进化描述模型	74
3.3.2 基于 IEC 的问题进化求解过程	79
3.4 本章小结	82
参考文献	82
4 交互式遗传算法进化个体适应值降噪策略	
4.1 方法的提出	85
4.2 交互式遗传算法的噪声	86
4.2.1 噪声来源	87
4.2.2 认知度	88
4.2.3 疲劳度	88
4.2.4 噪声函数	89
4.3 用于降噪的进化个体适应值调整	90
4.3.1 算法思想	90
4.3.2 适应值可信度	91
4.3.3 N_c 和 N_f 的确定	91
4.3.4 进化个体适应值调整	94
4.3.5 算法步骤	94
参考文献	96
5 基于用户偏好的协同交互式遗传算法	
5.1 算法的提出	98
5.2 基于用户偏好的协同交互式遗传算法	99
5.2.1 算法思想	99

5.2.2 用户偏好抽取	100
5.2.3 用户偏好存储	102
5.2.4 偏好相似用户寻找	103
5.2.5 算法系统结构	103
5.2.6 算法步骤	104
5.2.7 性能比较	106
5.3 本章小结	106
参考文献	106

6 基于多种群的自适应分层交互式遗传算法

6.1 算法的提出	109
6.2 多种群自适应分层交互式遗传算法	110
6.2.1 算法思想	111
6.2.2 多种群交互式遗传算法模型和个体迁移、替换 策略	111
6.2.3 近亲交叉回避和自适应单点变异	113
6.2.4 多种群交互式遗传算法分层条件和子搜索区域 确定	115
6.2.5 算法步骤	117
6.2.6 性能对比	119
6.3 本章小结	121
参考文献	122

7 基于多智能体系统的协同进化交互式遗传算法

7.1 模型的提出	124
-----------------	-----

7.2 基于多智能体系统的协同进化交互式遗传算法模型	125
7.2.1 交互式遗传算法单元	126
7.2.2 协同进化单元	128
7.3 面向智能体程序设计的协同进化交互式遗传算法描述	131
7.4 多智能体及有关操作	137
7.5 交互式多智能体进化算法	140
参考文献	143
8 IEC 理论在竞技体育技术动作优化中的应用	
8.1 引 言	145
8.2 抓举技术动作中的优化应用研究	146
8.2.1 抓举动作的数学描述	146
8.2.2 运动方程	148
8.2.3 约束条件	150
8.2.4 评价函数设计	150
8.2.5 基于 IEC 的交互式遗传算法描述	151
8.3 本章小结	155
参考文献	155

1 绪 论

交互式遗传算法是一类解决隐式性能指标优化问题的进化优化算法,已经广泛地应用于诸多领域。本章将简要介绍交互式遗传算法的提出、基本概念、应用及其核心问题。

1.1 引 言

在管理决策领域有一类复杂的决策问题——不确定性隐形目标决策问题^[1-3],如汽车造型设计问题、旅游行程规划问题等,由于此类问题的“决策目标(最优化、最经济)难以完全以显示结构化、数量化表示”,“决策者偏好结构未知或不确定”,“问题决策方案数目大,具有 NP 难解性质”,因而使得此类决策异常复杂。^[4]仅仅使用传统的决策方法与决策支持系统,很难对其进行求解。

近几年来,随着智能决策与人工智能技术的发展,一种具有人机交互机制的交互式进化计算(Interactive Evolutionary Computation, IEC)^[1]算法在解决此类不确定性隐形目标优化问题方面表现出较大的优势,引起了研究者的广泛关注。

IEC 的研究始于 1986 年 Dawkin 对基于 L-system 的生物形态系统的研究^[7]。IEC 是一种适应值函数由人来评估完成的 EC 方法,包括交互式遗传算法 (IGA)、交互式遗传规划 (IGP)、交互式进化规划 (IEP) 和交互式进化策略 (IES) 4 种方法。从决策角度看,利用 IEC 求解问题时,用户通过对决策方案(解)的评估,其偏好信息得到自然的表达,而评估适应值的大小就反映出决策者对该决策方案(解)偏爱的程度。IEC 中的表现型、基因型和适应值之间的关系与决策问题中的方案、属性和准则之间的关系是相对应的,它以决策者内心的偏好函数为适应值函数,并根据决策者对“可行方案”的偏好值(准则)来引导“属性”值的重组,以进一步搜寻更适合的可行方案^[2,3]。

Takagi 教授在其综述文章^[1]中总结了已应用于实际生活中的 IEC 的 15 个领域:图形图像处理、语音处理和韵律控制、音乐设计、网页设计、工业设计、人脸图像、虚拟现实、数据检索、知识获取和数据挖掘、控制和机器人、Internet 领域、食品工程、地球物理科学、艺术教育以及写作教育等。

然而,目前 IEC 中的交互式控制研究者却面临着以下四个研究难点:①适应值具有噪声;②人的偏好随着评价而不断调整;③IEC 要求在种群规模小、进化代数少的情况下使用,造成进化效率低下;④用户疲劳问题,它们造成了 IEC 优化性能低下,成为制约 IEC 应用发展的瓶颈问题。

所以,如何结合当前的人工智能等技术来解决 IEC 的进化效率问题和用户的疲劳问题,是一项颇具挑战性的工作,具有重要的理论意义与应用价值。

1.2 交互式进化算法的研究现状

IEC 的研究始于 1986 年 Dawkin 对基于 L-system 的生物形态系统的研究。目前,IEC 主要有交互式遗传算法(IGA)、交互式遗传规划(IGP)、交互式进化规划(IEP)和交互式进化策略(IES)4 个研究分支,且大部分集中于 IGA 的研究。IEC 的研究引起了国内外学者极大的兴趣,发表了大量的学术论文和相关的专著^[2-4],下面对 IEC 的研究进展进行分析。

1.2.1 IEC 的理论研究

IEC 的理论研究主要是针对算法框架的理论分析和算法的收敛性等方面。Rudolph^[5]使用随机 Mealy 自动机进行 IEC 的理论分析。郝国生等^[6]研究了 IEC 用户的认知规律,提出了 IEC 收敛的强条件和弱条件定理,给出了关于 IEC 全局收敛的 4 个定理及理性用户是 IEC 全局收敛的充分条件这一结论,指出 IEC 的全局收敛需要保留两个“最优”:适应值最优和满意度最优^[7]。

1.2.2 IEC 的应用研究

交互式遗传算法是一种因解决实际优化问题需要而发

展起来的进化优化算法，自它的诞生之日起就具有鲜明的应用背景和应用前景。下面介绍 IEC 算法在各领域的应用情况。

1. 计算机图形学领域

主要是图形图像处理与人脸图像处理等方面。Yamada 等^[8]设计了商标图画系统，对商标的大小、位置和颜色进行编码后，利用 IGA 进行交互式评价来搜索满意的商标；Miki 等^[9]提出可以让多用户参与的三色旗帜设计系统；Munteanu 等^[10]提供了一种相干斑抑制的交互式工具，可以让医学专家按照自己的评判准则不断对临床超声波成像图片评价，以获取更好的图像，该工具的核心是通过 IGA 来在线调整滤波器系数；Sugimoto 等^[11]利用 IGA 进化卡通脸图像，并使用部分评价策略以减轻用户疲劳。

2. 工业设计

工业设计是 IEC 应用的另一个重要领域。Siew 等^[12]进行整体微波集成电路低噪声放大器设计，利用 IGA 搜索相应的设计变量值以满足多个约束和目标；Ecemis 等^[13]利用 IEC 进行药物设计，并能在药物发现中充分使用化学家的专业知识；Zhang 等^[14]利用集成自适应机制的交互式进化策略进行船体的设计；Brintrup 等^[15]基于 IGA 设计符合人体工程的椅子。IEC 还应用于飞机造型设计^[16]、微机电系统设计^[17]等方面。

3. 语音处理和韵律控制

Takagi 等^[18]研究了基于 IEC 的助听器配戴方法，可以帮助调节适合个人使用的助听器。标志声音在日常生活中

应用普遍,例如火车到达、行人穿越道信号、家电等公共或私人场所使用的声音等。Miki 等^[19]试图利用 IGA 来设计这些标志声音,并研究了声音的呈现方式对系统性能的影响。

4. 音乐创作

Unehara 等^[20]研究了交互式作曲系统,可根据用户的评价搜索满意的音乐;Zhu 等^[21]研究了情感音乐生成。这些音乐的性能由 KTH 规则表达,利用交互式遗传算法来优化规则的权重以获取满意的情感音乐。

5. 多准则决策

Hsu 等^[22]基于 IGA 提出了一个多准则决策模型,指出 IGA 可以与决策支持系统集成以解决非结构化决策问题;Liang 等^[23]提出了一个基于 IEC 的 IDSS 结构模型;Fukada 等^[24]研究了基于 IGA 的房间设计决策支持系统,设计房间墙面、窗户、地毯、落地灯、沙发和坐垫等的配色方案。

6. 控制与机器人

Eperjesi^[25]利用 IEC 进行机器人的步态优化;Moshaiiov 等^[26]基于 IEC 技术研究了机器人多目标路径规划;Onisawa 等^[27]利用 IGA 提取模糊规则,并应用于小汽车的行驶控制;Nojima 等^[28]利用模糊状态值函数和 IGA 进行训练,以获得与人友好的伙伴机器人的握手行为。

7. 虚拟现实

Takekata 等^[29]利用 IEC 优化一组触觉参数,并应用于生成 3D 模型表面纹理;粒子系统在虚拟现实中有重要的

应用, Hastings 等^[30]提出了一个 NEAT 粒子系统, 可以让没有编程能力或艺术技巧的普通用户使用 IEC 进化粒子系统的特效。

8. 其他

IEC 还被应用于数据检索^[31]、数据挖掘^[32]、用户界面设计^[33]、心理健康测评^[34]、辅助教育^[35]、地质反演^[36]等方面。

1.3 交互式遗传算法研究的核心问题

IEC 在处理问题时, 面临以下四个研究难点:

(1) 适应值噪声问题。IEC 要求人参与评价个体表现型对应的系统输出 (如声音、图形/图像), 以得到个体的适应值。由于人评价时难以记住所有评价过的个体适应值, 也就很难维持一个统一的评价标准, 所以人评价的适应值具有波动性, 即产生了适应值评价噪声。

(2) 人的偏好不断调整的问题。由于决策目标的不确定性, 使得人 (决策者) 对自己的偏好在一开始难以明确, 需要在与系统不断的交互评价过程中逐渐加以确认, 即决策者在评价过程中不断地改变自己原有的偏好/倾向, 产生出决策者的偏好不断调整的情况。

(3) 算法进化效率低下的问题。由于 IEC 要求在种群规模小、进化代数少的情况下使用, 这就造成了算法的性能不高的问题。

(4) 人的疲劳问题。由于人要不断地与计算机交互来

评价个体适应值,与不知疲倦的计算机相比,人具有容易疲劳的特点,人只能对较小规模的进化种群进行评价,且进化代数不能太多。

所以,要使得 IEC 能够更好地求解问题,需要从人评估的波动性(噪声)、人的偏好不断调整、算法的进化效率低下及用户评估疲劳等关键技术难题入手,结合适当的技术、方法,研究新的交互式进化优化理论与方法。1.3.1~1.3.3 将从 IEC 的四个研究核心综述相关的研究工作的进展及其与本研究的关系。

1.3.1 IEC 与适应值噪声

IEC 是从 EC 演化而来,所以 EC 中许多研究成果对 IEC 均有很好的借鉴意义。研究表明,一般进化计算(EC)中适应值噪声的来源主要有以下两个方面^[15,16]:一是个体适应值的测量,即由测量误差或干扰信号形成含噪声的适应值;二是优化问题本身和环境的变化,即优化问题本身就是一个不断变化的动态目标问题,或者系统的参数会随着环境的改变而逐渐发生变化,从而影响优化问题的最终结果。

噪声对进化过程的干扰主要是体现在对选择的操作上,使得种群中优势个体被淘汰,而劣势个体可能会被误认为是优势个体而繁衍生存。因此,噪声容易造成进化过程的学习效率低,无法正确保留已学习的信息,算法的开发和搜索能力受限,种群适应值不能随进化代数增加而增长^[17]。