

粒子群优化算法及电磁应用

田雨波 编著



科学出版社

粒子群优化算法及电磁应用

田雨波 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在论述粒子群优化算法基本原理的基础上,介绍有关改进设计,同时给出各种改进设计在电磁场工程问题中的应用。从内容上看,全书分为两个部分:第一部分为第2~12章,主要论述粒子群优化算法,包括标准粒子群优化算法、粒子群优化算法的物理基础、粒子群优化算法的边界条件、量子粒子群优化算法、云粒子群优化算法、简化粒子群优化算法、蛙跳粒子群优化算法、小波粒子群优化算法、二进制粒子群优化算法及基于粒子群优化算法的神经网络和神经网络集成等;第二部分为13~18章,主要论述粒子群优化算法在电磁工程中的应用,包括电磁问题中的复超越方程求解、滤波器设计、微带天线设计、谐振频率建模、吸波材料设计和天线阵综合等。

本书可供智能优化算法、计算电磁学、电磁场工程等领域从事研究和开发工作的科技人员及高校教师参考阅读,也可作为高等院校相关专业高年级本科生和研究生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

粒子群优化算法及电磁应用 / 田雨波编著. —北京: 科学出版社, 2014.3

ISBN 978-7-03-040008-6

I. ①粒… II. ①田… III. ①电子计算机—算法理论 IV. ①TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 041731 号

责任编辑: 孙 芳 张 宇 / 责任校对: 郭瑞芝
责任印制: 张 倩 / 封面设计: 蓝 正

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 3 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2014 年 3 月第一次印刷 印张: 16 1/4

字数: 327 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

优化理论与算法是科学研究和工程技术等领域的重要研究工具，它所研究的问题是在众多的方案中确定什么样的方案最优及怎样找出最优方案。目前，由于所研究的实际系统的规模越来越大，约束条件越来越多，系统结构越来越复杂，传统的基于梯度的优化方法具有较大的局限性，而建立在生物智能或物理现象基础上的以有向随机搜索为特征的智能优化算法应运而生，并成为相关学科的研究热点和重要研究方向。作为智能优化方法的典型代表，粒子群优化算法是一种基于群体智能的进化计算技术，其思想来源于人工生命和进化计算理论。该算法采用实数求解，并且需要调整的参数较少，容易实现，同时又有深刻的智能背景，既适合科学研究，又特别适合工程应用。为此，国内外已出版了相关学术著作、教材、论文集等。我们知道，在粒子群优化算法的研究过程中，既要注意包括原理基础、算法设计、理论分析等在内的纵向研究，也要与其他方法对比而进行横向研究。本书在介绍粒子群优化算法基本原理的基础上，重点给出了其与其他方法之间的相互集成，“去其糟粕，取其精华”，进而获得性能良好的改进设计，这是本书的主要特点之一。

计算电磁学是 20 世纪 60 年代随着电子计算机技术的发展而诞生的，它是在电磁学、计算数学和计算机科学的基础上产生的边缘交叉学科。计算电磁学实质上是以电磁场理论为基础，以高性能计算技术为手段，运用计算数学提供的各种方法，解决复杂电磁场理论和工程问题的应用科学。经过几十年的发展，计算电磁学内容越来越丰富，影响越来越深广，使得所有与电磁场相关的领域都因其发展而受益，其中不少领域由于运用了计算电磁学的方法而面貌完全改观。然而，对于复杂的电磁系统，对其进行严格的电磁仿真耗时费力，在保证计算精度的情况下对其进行快速建模和优化设计必将成为计算电磁学的发展趋势，而这在一定程度上又是建立在智能优化算法基础之上的。本书在论述粒子群优化算法及其各种改进设计的同时，重点给出其在电磁工程中的应用，这也是本书的另外一个主要特点。

本书是作者及作者指导的研究生在粒子群优化算法和电磁工程建模及优化方面的科研工作的系统总结。从内容上看，全书分为两个部分：第一部分为第 2~12 章，主要论述粒子群优化算法。第 2 章给出粒子群优化算法的基本概念、算法模

型及算法的优缺点,重点讨论粒子的更新方法。第3章介绍粒子群优化算法的物理基础,包括分子动力学理论、算法的热力学分析及马尔可夫链等。第4章讨论粒子群优化算法的边界条件的作用、分类及相应的仿真结果。第5章给出量子粒子群优化算法及优缺点,重点给出基于微分进化算子和混沌序列的量子粒子群优化算法及基于反向学习机制的量子粒子群优化算法。第6章首先介绍云模型的概念,然后给出一种基于云模型的粒子群优化算法。第7章对简化粒子群优化算法进行概述,接着给出两种简化粒子群优化算法,并进行相应的数值仿真实验。第8章首先介绍混合蛙跳算法,继而给出蛙跳粒子群优化算法及相应的数值试验。第9章首先概述小波分析的基本理论,接着给出一种改进的小波粒子群优化算法。第10章介绍二进制粒子群优化算法,并给出基于次优活跃点的二进制粒子群优化算法及鲶鱼二进制粒子群优化算法。第11章讨论基于粒子群优化算法的神经网络,并就4个典型问题对该神经网络进行测试。第12章给出基于粒子群优化算法的选择性神经网络集成方法,进行数值仿真试验。第二部分为第13~18章,主要论述粒子群优化算法在电磁工程中的应用。第13章结合粒子群优化算法和参数跟踪策略形成一种求解电磁问题中的复超越方程的方法,并基于该方法求解复介电常数和表面波特征方程。第14章给出一种结合粒子群优化算法和HFSS电磁仿真软件的电磁问题优化方法,并基于该方法对蝶形单元电磁带隙结构滤波器和双层电磁带隙结构滤波器进行优化设计。第15章首先介绍微带天线的基本知识,并对基于粒子群优化算法和HFSS电磁仿真软件进行电磁问题优化设计的方法进行并行实现,在此基础上对三种微带天线进行优化设计。第16章应用粒子群神经网络对矩形微带天线谐振频率进行建模,并应用基于粒子群优化算法的选择性神经网络集成方法对圆形和矩形微带天线谐振频率分别进行建模。第17章应用粒子群优化算法对多层电磁吸波材料进行优化设计,同时也对包含频率选择表面的多层电磁吸波材料进行优化设计。第18章应用粒子群优化算法对直线阵和平面阵进行综合设计。

在写作本书过程中参阅了大量的国内外文献,没有这些作者的辛勤工作和杰出成果,本书不可能完成,作者在此深表感谢。同时,也引用了作者指导的沙玉红、朱人杰、李正强、李静宜、潘朋朋、沙莎、彭涛、李金金、谭冠南、吴志勇、周昊天、高东慧、楼群等研究生的研究成果,在此一并表示感谢。

本书是在江苏省“青蓝工程”中青年学术带头人项目、江苏省高校优势学科建设工程项目、江苏科技大学研究生部出版基金的资助下完成的,在此对上述资助单位表示诚挚谢意。同时,对在本书创作过程中给予作者大力支持的江苏科技大学电子信息学院的领导及各位同仁表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

绪 论

第 1 章 绪论	3
1.1 优化方法	3
1.1.1 优化的基本概念	3
1.1.2 优化问题的分类	4
1.1.3 优化算法的复杂度	4
1.2 智能优化方法	5
1.2.1 智能优化方法的基本概念	5
1.2.2 智能优化方法的特点	6
1.2.3 智能优化方法的哲学定理	7
1.3 粒子群优化算法	9
1.4 粒子群优化算法的电磁应用	10
参考文献	11

第一部分 粒子群优化算法

第 2 章 标准粒子群优化算法	21
2.1 引言	21
2.2 算法概述	22
2.2.1 算法原理	22
2.2.2 算法数学描述	22
2.2.3 算法流程	23
2.2.4 算法参数	24
2.3 算法模型	25
2.3.1 算法模型分析	25
2.3.2 算法拓扑结构	27
2.3.3 算法邻域结构	27
2.4 算法优点和局限性	27

2.4.1 算法的优点	27
2.4.2 算法的局限性	27
2.5 粒子更新方法研究	28
2.6 算法应用及展望	34
2.6.1 算法的应用	34
2.6.2 算法的研究方向	34
参考文献	35
第3章 粒子群优化算法的物理基础	37
3.1 引言	37
3.2 分子动力学理论	37
3.2.1 保守 PSO 环境	37
3.2.2 耗散 PSO 环境	40
3.3 PSO 环境的热动力学分析	42
3.3.1 热力学平衡	42
3.3.2 能量因素	43
3.3.3 动力学特性	44
3.4 PSO 算法的扩散模型	44
3.5 PSO 算法的马尔可夫模型	46
3.5.1 基于概率理论的更新方程	46
3.5.2 马尔可夫链模型	47
3.5.3 广义 PSO 算法	48
参考文献	49
第4章 粒子群优化算法的边界条件	50
4.1 引言	50
4.2 边界条件分类	50
4.3 数值仿真实验	54
4.3.1 测试函数	54
4.3.2 仿真结果及分析	54
参考文献	58
第5章 量子粒子群优化算法	59
5.1 引言	59
5.2 算法概述	59
5.2.1 算法原理	59

5.2.2 算法流程和框图	63
5.2.3 压缩扩张因子的选取	63
5.3 算法优点及局限性	65
5.4 基于微分进化算子和混沌序列的量子粒子群优化算法	66
5.4.1 微分进化算子	66
5.4.2 混沌扰动	67
5.4.3 算法流程及框图	68
5.4.4 数值仿真实验	68
5.5 基于反向学习机制的量子粒子群优化算法	71
5.5.1 算法改进思想	71
5.5.2 数值仿真实验	72
参考文献	73
第6章 云粒子群优化算法	76
6.1 引言	76
6.2 云模型概述	76
6.2.1 云模型的概念	76
6.2.2 云模型的定义	77
6.2.3 云模型的数字特征	78
6.2.4 云发生器	79
6.2.5 正态云的统计分析	81
6.3 云自适应粒子群优化算法	81
6.3.1 基于云变异的云自适应粒子群算法	81
6.3.2 数值仿真实验	83
参考文献	86
第7章 简化粒子群优化算法	88
7.1 引言	88
7.2 算法概述	88
7.2.1 粒子群优化算法中速度的分析	88
7.2.2 简化粒子群优化算法的实现	89
7.2.3 简化粒子群优化算法的收敛性	90
7.3 两种简化粒子群优化算法	90
7.3.1 带极值扰动的简化粒子群优化算法	90
7.3.2 惯性和经验相互影响的简化粒子群优化算法	91

7.4 数值仿真实验	92
7.4.1 待测算法	92
7.4.2 测试结果及分析	93
参考文献	94
第8章 蛙跳粒子群优化算法	96
8.1 引言	96
8.2 混合蛙跳算法概述	96
8.2.1 混合蛙跳算法基本概念	96
8.2.2 混合蛙跳算法数学模型	97
8.2.3 混合蛙跳算法基本步骤	98
8.3 蛙跳粒子群优化算法	99
8.3.1 算法实现	99
8.3.2 数值仿真试验	100
参考文献	102
第9章 小波粒子群优化算法	105
9.1 引言	105
9.2 小波分析概述	105
9.2.1 小波分析常用记号	105
9.2.2 连续小波变换	106
9.2.3 离散小波变换	109
9.2.4 多分辨率分析	110
9.2.5 小波变换的性质	110
9.3 小波粒子群优化算法原理及实现	111
9.3.1 算法实现	111
9.3.2 数值仿真实验	115
参考文献	119
第10章 二进制粒子群优化算法	120
10.1 引言	120
10.2 二进制粒子群优化算法概述	120
10.2.1 基本二进制粒子群优化算法	120
10.2.2 二进制与十进制之间的转换	122
10.2.3 数值实验用测试函数	122
10.3 基于次优活跃点的二进制粒子群优化算法	123

10.3.1	算法描述	123
10.3.2	算法流程	123
10.3.3	算法参数的均匀设计	124
10.4	鲐鱼二进制粒子群优化算法	128
10.4.1	鲐鱼效应	128
10.4.2	算法描述	128
10.4.3	算法流程	129
10.4.4	算法参数的确定	129
10.5	两种二进制粒子群优化算法的数值仿真试验	136
	参考文献	138
第 11 章	粒子群神经网络	140
11.1	引言	140
11.2	神经网络概述	140
11.2.1	神经网络的概念与分类	140
11.2.2	神经网络的基本特征和基本功能	141
11.2.3	神经网络的基本性质、优点及其应用	142
11.2.4	神经网络的性能指标及研究内容	143
11.2.5	BP 神经网络	144
11.3	粒子群神经网络原理及实现	145
11.3.1	粒子群优化算法与神经网络的融合	145
11.3.2	粒子群算法优化神经网络的权值	145
11.3.3	粒子群算法优化神经网络的结构	149
11.3.4	粒子群算法同时优化神经网络的结构和权值	150
11.4	粒子群神经网络应用	151
11.4.1	函数优化问题	151
11.4.2	分类问题	153
11.4.3	LED 问题	154
11.4.4	广义异或问题	155
	参考文献	156
第 12 章	粒子群神经网络集成	158
12.1	引言	158
12.2	神经网络集成概述	158
12.2.1	基本概念	158

12.2.2	实现方法	159
12.2.3	存在问题	160
12.2.4	Iris 分类问题试验	161
12.3	基于粒子群优化算法的选择性神经网络集成方法	162
12.3.1	基于粒子群优化算法的神经网络集成方法	162
12.3.2	数值仿真实验	163
	参考文献	165

第二部分 粒子群优化算法的电磁应用

第 13 章	超越方程求解	169
13.1	引言	169
13.2	算法概述	170
13.2.1	算法简介	170
13.2.2	参数跟踪策略	171
13.2.3	跟踪参数添加原则	171
13.2.4	算法特点	172
13.3	数值仿真实验	172
13.3.1	求解复介电常数	172
13.3.2	求解表面波特征方程	174
	参考文献	177
第 14 章	滤波器设计	179
14.1	引言	179
14.2	基于 PSO 算法和 HFSS 仿真软件的电磁优化设计方法	179
14.2.1	HFSS 软件简介	179
14.2.2	HFSS 软件宏命令及 VBscript 语言	180
14.2.3	优化方案介绍	180
14.2.4	优化程序具体实现	182
14.3	蝶形单元电磁带隙结构滤波器的优化设计	182
14.3.1	电磁带隙结构	182
14.3.2	蝶形单元电磁带隙结构滤波器	182
14.3.3	蝶形单元电磁带隙结构滤波器优化设计	188
14.4	双层电磁带隙结构滤波器的优化设计	190
14.4.1	双层电磁带隙结构滤波器结构	190

14.4.2 双层电磁带隙结构滤波器尺寸的优化设计	191
参考文献	192
第 15 章 微带天线设计	195
15.1 引言	195
15.2 微带天线基本知识	195
15.2.1 微带天线的工作原理	195
15.2.2 微带天线的性能分析	196
15.2.3 微带天线的优缺点	198
15.3 微带天线设计实例	198
15.3.1 基于 PSO 算法和 HFSS 软件的电磁优化设计方法的并行实现	198
15.3.2 矩形贴片天线设计	202
15.3.3 平面倒 F 天线设计	203
15.3.4 U 形寄生元宽带微带天线设计	206
参考文献	207
第 16 章 谐振频率建模	210
16.1 引言	210
16.2 基于粒子群神经网络的 MSA 谐振频率建模	210
16.2.1 矩形 MSA 的谐振频率	210
16.2.2 基于粒子群神经网络的矩形 MSA 谐振频率建模	211
16.3 基于粒子群神经网络集成的 MSA 谐振频率建模	212
16.3.1 圆形 MSA 的谐振频率	212
16.3.2 基于粒子群神经网络集成的圆形 MSA 谐振频率建模	215
16.3.3 基于粒子群神经网络集成的矩形 MSA 谐振频率建模	215
参考文献	216
第 17 章 吸波材料设计	219
17.1 引言	219
17.2 电磁吸波材料概述	219
17.2.1 电磁吸波材料简介	219
17.2.2 电磁吸波材料分层设计数学模型	220
17.3 基于粒子群优化算法的电磁吸波材料设计	221
17.3.1 多层电磁吸波材料设计	221
17.3.2 带有频率选择表面的多层电磁吸波材料设计	223
参考文献	228

第 18 章 天线阵综合	231
18.1 引言	231
18.2 天线阵综合基础	232
18.2.1 方向图乘积原理	232
18.2.2 直线阵综合基础	233
18.2.3 平面阵综合基础	234
18.3 直线阵综合实例	235
18.3.1 连续电流幅度综合	235
18.3.2 连续电流相位综合	237
18.3.3 量化电流幅度综合	238
18.3.4 同时量化电流幅度和相位综合	241
18.4 平面阵综合实例	243
18.4.1 矩形阵综合	243
18.4.2 矩形阵稀疏	244
参考文献	245

绪 论

第1章 绪 论

1.1 优 化 方 法

1.1.1 优化的基本概念

优化理论与算法是一个重要的数学分支,是科学研究和工程技术等领域的重要研究工具,它所研究的问题是在众多的方案中确定什么样的方案最优以及怎样找出最优方案^[1-8]。从数学意义上说,最优化方法是一种求极值的方法,即在一组约束为等式或不等式的条件下,使系统的目标函数达到极值,即最大值或最小值。从经济意义上说,是在一定的人力、物力和财力资源条件下,使经济效果达到最大(如产值、利润),或者在完成规定的生产或经济任务下,使投入的人力、物力和财力等资源最少。

最优化一般可以分为最优设计、最优计划、最优管理和最优控制四个方面。

最优设计:世界各国工程技术界,尤其是飞机、造船、机械、建筑等部门在设计中都已广泛应用最优化方法,从各种设计参数的优选到最佳结构形状的选取等,结合有限元方法已使许多设计优化问题得到解决。最优设计的一个新的发展动向就是和计算机辅助设计相结合。

最优计划:从现代国民经济或部门经济的计划,直至企业的发展规划和年度生产计划,尤其是农业规划、种植计划、能源规划及其他资源、环境和生态规划的制订,都已开始应用最优化方法。最优计划一个重要的发展趋势是帮助领导部门进行各种优化决策。

最优管理:一般在日常生产计划的制订、调度和运行中都可应用最优化方法。随着管理信息系统和决策支持系统的建立和使用,最优管理得到迅速发展。

最优控制:主要用于对各种控制系统的优化。例如,导弹系统的最优控制,能保证用最少的燃料完成飞行任务,用最短的时间达到目标;再如,飞机、船舶、电力系统等的最优控制,化工、冶金等工厂的最佳工况的控制。计算机接口装置不断完善和优化方法的进一步发展,还为计算机在线生产控制创造了有利条件,最优控制的对象也从对机械、电气、化工等硬系统的控制转向对生态、环境以至社会经济系统的控制。

用最优化理论和方法解决实际问题,一般可经过下列步骤:①根据所要解决的最优化问题,收集有关数据和资料;②建立最优化问题的数学模型,确定变量,列出目标函数和约束条件;③分析模型,选择合适的最优化方法;④求解,一般通

过编制程序,用计算机求最优解;⑤最优解的检验和实施。上述 5 个步骤中的工作相互支持和相互制约,在实践中常常是反复交叉进行。

1.1.2 优化问题的分类

根据不同的分类标准,优化问题可以分成不同的类型。如果考虑优化对象的状态,最优化问题可以分成函数优化问题和组合优化问题两大类,其中函数优化的对象是解空间的连续状态,而组合优化的对象则是解空间中的离散状态。

定义 1.1 函数优化问题。令 S 为 R^n 上的有界子集(即变量的定义域), $f: S \rightarrow R^n$ 为 n 维实值函数,所谓函数 f 在 S 域上全局最小化就是寻求点 $X_{\min} \in S$ 使得 $f(X_{\min})$ 在 S 域上全局最小,即 $\forall X \in S: f(X_{\min}) < f(X)$ 。

定义 1.2 组合优化问题。令 $\Omega \in \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 为所有状态构成的解空间, $C(s_i)$ 为状态 s_i 对应的目标函数值,要求寻找最优解 s^* ,使得 $\forall s_i \in \Omega: C(s^*) = \min C(s_i)$ 。

1.1.3 优化算法的复杂度

优化算法的复杂度理论主要研究优化算法在求解优化问题时所需要的各种资源的量,其主要考虑的是设计可以用于估计、定界任一可行算法求解某类问题时所需要的和仅需的计算资源的技术或方法。

根据一般算法理论,判定一个算法的好坏主要有如下标准:

- (1) 算法的正确性。要求算法能够正确地执行所规定的性能要求。
- (2) 算法的可使用性。要求算法能够方便地使用。
- (3) 算法的可读性。要求算法必须逻辑清晰、结构简单,以便于测试和修改。
- (4) 算法的执行效率。主要指算法执行时间的消耗,包括运行时间开销和存储时间开销两个方面,前者称为算法的时间代价,后者称为算法的空间代价。
- (5) 算法的健壮性。主要体现在两个方面,其一体现如算法代码的健壮性,即代码本身应具有对输入数据的检查、对运行错误报告的容错机制和意外处理机制,其二体现在利用算法模型求解问题的宽广程度。

很显然,这五个标准中的前三项都涉及了算法代码的编制问题,而不涉及算法模型本身,因此在研究算法的基本理论及其应用时可以不考虑这三个标准。算法的执行效率涉及了算法建模和算法编制两个方面。然而,同样编写的程序在不同的计算机硬件、软件环境下的时间效率和空间效率都有所差异,这种差异大多在算法完成后进行事后测试估计,很难从理论上进行深入讨论。通常,对算法效率在理论上的探讨又称为算法的事前估计,可分为算法的时间复杂度分析和空间复杂度分析,其定义如下。