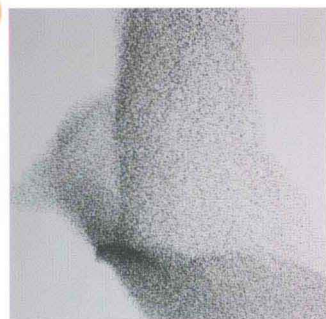
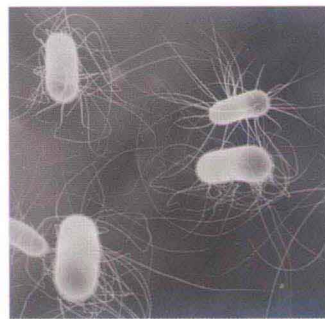
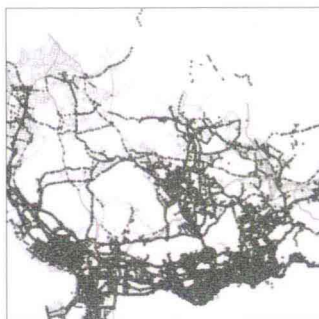
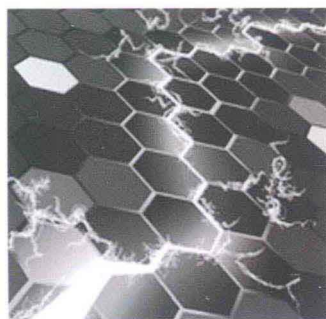
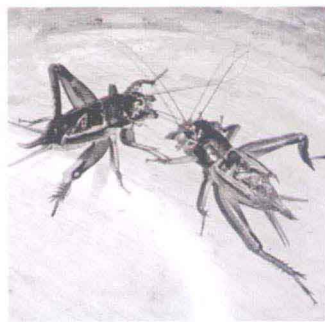
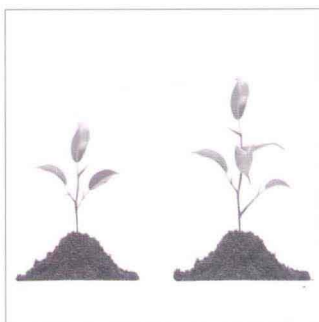
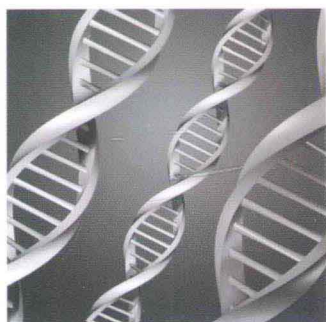


生物启发计算

个体、群体、群落演化模型与方法

Bio-inspired Computing

Individual, Swarm and Community Evolution Models and Methods



朱云龙 陈瀚宁 申海 著

Zhu Yunlong Chen Hanning Shen Hai



清华大学出版社

生物启发计算

个体、群体、群落演化模型与方法

Bio-inspired Computing

Individual, Swarm and Community Evolution Models and Methods

朱云龙 陈瀚宁 申 海 著

Zhu Yunlong Chen Hanning Shen Hai



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是作者在生物启发式计算领域的系统性研究成果。书中系统、深入地介绍了生物启发计算的起源、模型、理论及其应用领域,以生物进化论、共生进化论、复杂适应性系统的思想与理论为基础,提出基于个体、群体、群落三个层面生物行为演化模式的生物启发计算统一性方法,并以几种新型实现模式为例,分别进行基于统一框架的算法设计、建模仿真以及优化问题求解,使生物启发计算理念从宏观到微观再到宏观、从统一性到多样性再到统一性得到了系统的展现。

本书的出版能够为生物启发计算领域的研究和应用提供新的思路和方法。本书可供智能科学、自动化、计算科学、电子信息等相关领域的研究生、教师和科研人员以及工程技术人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,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

生物启发计算:个体、群体、群落演化模型与方法/朱云龙,陈瀚宁,申海著.--北京:清华大学出版社,2013

ISBN 978-7-302-31908-5

I. ①生… II. ①朱… ②陈… ③申… III. ①智能计算机—计算方法 IV. ①TP387

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 074797 号

责任编辑:王一玲

封面设计:朱云龙

责任校对:李建庄

责任印制:杨 艳

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 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:175mm×245mm

印 张:17.25

字 数:426 千字

版 次:2013 年 7 月第 1 版

印 次:2013 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00 元

产品编号:051262-01

序 言

在过去的几十年里,人们提出了许多基于生物行为的算法,比如:进化算法(evolutionary algorithms)、人工神经网络(artificial neural networks)、人工免疫系统(artificial immunity systems)以及群体智能(swarm intelligence)等。许多算法得到了深入的研究并且被应用到复杂工程系统的某些方面。但由于传统上对复杂工程系统的建模必须依赖于大量的假设得到简化的模型,从而才能运用某些算法(包括进化算法)进行优化,使得这些简化的模型很多时候并不能反映系统的本质,从而影响了结果的准确性和适用性。

如何对复杂系统进行建模和仿真计算以及描述其进化行为,吸引了广大科学工作者的极大兴趣。复杂系统是由大量互相作用的基本部件组成的系统,例如复杂生物系统和复杂工程系统。其中复杂生物系统由大量生命的有机体组成,这些有机体之间有着不同层次的相互作用,而这些相互作用又由一些随时间变化的生物规则所控制。同样地,复杂工程系统是一种由大量的呈现复杂行为的子系统组成的人工系统。相对而言,在很大程度上,工程系统并没有生物系统这么复杂。所以,在生物系统方面的研究会对工程系统有极大的帮助。

在生物系统研究领域,各类生物启发算法层出不穷,它们形态多样,理念各异,建模及分析工具各具特色。同时,由于各种生物智能计算模式均源于“自然”,模拟自然界的生物智能行为规律,它们总是为解决某类计算及优化问题而设计的,这些计算模式又具有相对的统一性。

本书在综合分析了各种基于生物行为优化算法的基础上,针对现有生物启发计算模式的局限性,以生物进化论、共生进化论、自然界生态系统的涌现与系统特性为基础,通过借鉴复杂适应性系统的思想,从个体、群体、群落三个层面生物行为演化模式建立生物启发计算的统一框架,为从事智能优化方法和工程应用的科学工作者提供一条可借鉴的研究方法和途径。

该书内容新颖、论述精辟、博采众长,注重理论与实践的有机结合,可读性强。朱云龙先生从自然界生物个体、群体和群落三个层次系统地阐述了生物行为演化模型与

优化方法,总结归纳了生物启发计算领域中的最新研究成果与实践经验,类似的生物启发计算方面的书籍在国内外亦少见。我以一种兴奋与激动的心情向读者们推荐此书,也希望该书的出版为从事生物智能优化方法研究的广大科研工作者提供可借鉴的理论指导。

李培根

中国工程院院士

2013年4月

前言

大自然总是给人以启迪。人们受生物界的各种自然现象或过程的启发,提出了许多用以解决复杂优化问题的新方法,人们将这种启发于生物行为的计算方法称为生物启发计算,如进化计算、植物种子迁移算法、免疫与内分泌计算、生态计算和群体智能等。生物启发计算是建立在仿生学、生态系统分析、计算机技术等学科的基础上逐渐发展起来的一种优化计算方法,其中生物进化论、共生进化论和 CAS 理论为生物启发计算提供了重要的理论支撑。由于此类方法具备问题描述简单和高效的优化性能,因而被广泛应用于各类复杂优化问题的求解计算,并取得了令人鼓舞的成就。

本书综合分析了各种基于生物行为的优化算法的特点、模式;从个体编码、种群协作、混合策略和生物行为等角度阐述生物启发计算的研究进展;归纳总结了生物启发计算的参数效能分析、群体多样性方法以及生物启发式计算收敛性问题的研究成果,在此基础上提出本书研究的总体框架。

本书力图系统地从自然界生物个体、群体和群落三个层面完整地勾画生物行为的演化模型和框架,为从事相关优化方法研究的科研工作者提供可借鉴的理论指导。

全书共分 7 章:

第 1 章:绪论部分,简要地介绍生物启发计算的主要研究分支,并给出在生物启发计算相关研究存在的局限性。

第 2 章:简要介绍生物启发计算领域的主要算法以及此领域的主要研究方向与发展趋势。

第 3 章:以生物进化论、共生进化论和复杂适应系统等理论对生物启发计算的启示为主线,研究生物启发计算的思想来源与理论基础;探讨生物系统在进化过程中的自适应与效率机制;阐述质参量兼容原理、共生能量生成原理、共生系统进化原理;给出多种群协同进化动力学模型和 CAS 演化过程的数学描述。在此基础上阐释生物进化复杂系统的层级体系演化模型和统一框架模型,为生物启发式计算的研究建立算法设计的模型范式。

第 4 章:分别从自然界中生物个体的行为模式、生物个体建模与仿真以及计算模式等角度详细阐述在统一框架下的个体行为模式与自适应优化的构建方法,并以细菌

和植物根系两类不同生物为研究对象进行自适应优化算法的设计与实现。

第5章：从生物种群的信息交流模式分析种群内部个体、种群内的通信机制与演化模式，并以生物启发计算框架模型为基础构建生物群体行为的计算模型，给出基于该模型的群搜索和生命周期算法的设计与实现。

第6章：详细阐述生物群落共生进化中的种群演化模式以及群落不同层次与环境间的作用关系，给出生物群落演化的统一优化框架模型和基本操作，并进行算法的设计与实现。

第7章：探讨生物启发计算的前沿热点理论问题和工程应用问题。

本书是作者和他的博士生和博士后团队共同研究的结晶，他们分别是陈瀚宁博士、申海博士、邹文平博士、晏晓辉博士、张浩博士、张丁一博士、库涛博士、吕赐兴博士、牛奔博士、何小贤博士、王玫博士、常春光博士。同时，在研究过程中先后得到了国家自然科学基金的大力支持。

国家自然科学基金重点基金：

- 基于互联网的商务过程的建模与优化方法的研究(70431003)。

国家自然科学基金：

- 基于细菌行为模式的复杂系统建模与优化方法研究(61174164)。
- 基于现实挖掘的人群多尺度时空特征及复杂活动模式研究(61203161)。
- 基于群体生存理论的菌群优化方法及在生产调度中的应用研究(51205389)。
- 基于生物行为的RFID系统优化模型与算法研究(61105067)。
- 面向感应网络的移动现实挖掘及复杂行为模式分析研究(61003208)。

谨以此书向国家自然科学基金委表示衷心的感谢！

在本书的编写过程中，陈瀚宁博士、申海博士和常春光博士倾注了大量的心血。同时参与编写工作的还有晏晓辉博士、邹文平博士和张浩博士。由于生物启发计算已成为当前研究热点，新思想、新概念不断涌现，而作者的水平及所了解的情况有限，因此，在选题、选材及对各方法的评述等方面难免有欠妥乃至错误之处，敬请读者予以批评指正。

2013年4月于沈阳

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 从仿生学到生物启发计算	1
1.2 生物启发计算与复杂适应系统	4
1.3 生物启发计算的主要研究分支	5
1.4 生物启发计算研究的局限性	6
参考文献	7
第 2 章 生物启发计算研究综述	8
引言	8
2.1 生物启发计算的实现模式概述	8
2.2 生物启发计算模式综述	9
2.2.1 遗传算法	10
2.2.2 粒子群优化	11
2.2.3 蚁群优化	12
2.2.4 人工蜂群算法	14
2.2.5 细菌觅食算法	16
2.2.6 群搜索算法	17
2.2.7 DNA 计算	19
2.2.8 自组织迁移算法	19
2.2.9 膜计算	20
2.2.10 元胞自动机	20
2.2.11 神经网络	21
2.2.12 人工免疫系统	23
2.3 生物启发计算的应用与发展趋势	24
2.3.1 自然计算应用领域综述	24

2.3.2 应用分析与展望	28
参考文献	29
第3章 理论基础与统一模型	33
引言	33
3.1 生物进化论与优化	33
3.1.1 优胜劣汰—生存竞争	33
3.1.2 自适应与效率	35
3.2 共生进化论与种群动力学	37
3.2.1 共生与协同进化	37
3.2.2 多种群共生协同进化的动力学描述	41
3.3 复杂系统与涌现	42
3.3.1 复杂适应系统与生物进化	42
3.3.2 生物进化的复杂系统建模	45
3.4 生物启发计算的统一框架模型	48
3.4.1 生物启发计算模式的统一框架理念	49
3.4.2 个体—群体—群落：生物启发计算模式的总体形式化描述	51
3.4.3 环境	55
参考文献	67
第4章 生物个体行为模式与自适应优化方法	70
引言	70
4.1 自然进化中的个体行为模式	70
4.1.1 生物个体的觅食行为分类	70
4.1.2 适应性主体	74
4.1.3 效率与最优觅食理论	77
4.2 基于生物个体行为的计算模式设计	78
4.2.1 基于生物个体行为的统一优化框架	78
4.2.2 基于生物个体行为的基本操作	79
4.3 生物个体建模与仿真分析	83
4.3.1 生物系统个体的形式化定义	83
4.3.2 典型生物个体行为的建模与仿真分析	84
4.3.3 个体环境间作用关系描述与规则模型	88
4.4 细菌自适应觅食优化算法	91
4.4.1 算法的基本思想与流程	91
4.4.2 算法的形式化描述	94
4.4.3 ABFO 算法实现步骤	95

4.4.4 算法效能分析·····	95
4.5 植物根系自适应生长优化算法·····	102
4.5.1 算法的基本思想 ·····	102
4.5.2 算法的形式化描述 ·····	104
4.5.3 算法流程 ·····	105
4.5.4 算法效能分析 ·····	105
参考文献 ·····	121
第 5 章 生物种群信息交流模式与生命周期群搜索策略 ·····	125
引言 ·····	125
5.1 自然界中单一物种群体内部的信息交流与协作模式·····	125
5.1.1 生物种群 ·····	125
5.1.2 信息交流 ·····	126
5.1.3 分工协作与分布式控制 ·····	128
5.2 基于生物群体行为的计算模式设计·····	130
5.2.1 基于生物群体行为的统一优化框架 ·····	130
5.2.2 基于生物群体行为的基本操作 ·····	131
5.3 生物种群建模与仿真分析·····	134
5.3.1 生物系统种群的形式化定义 ·····	134
5.3.2 种群内个体通信模型 ·····	137
5.3.3 任务分工 ·····	141
5.3.4 种群演化模型 ·····	144
5.4 基于生命周期和社会学习的细菌觅食算法及其性能分析·····	149
5.4.1 算法的基本思想与流程 ·····	149
5.4.2 算法的形式化描述 ·····	152
5.4.3 算法性能分析 ·····	153
5.5 生命周期群搜索优化算法及其性能分析·····	159
5.5.1 算法的基本思想与流程 ·····	159
5.5.2 算法的形式化描述 ·····	160
5.5.3 实验设置 ·····	162
5.5.4 算法性能分析：无约束函数 ·····	162
5.5.5 算法性能分析：有约束函数 ·····	170
参考文献 ·····	174
第 6 章 生物群落演化模式与优化算法 ·····	178
引言 ·····	178
6.1 生物群落进化中的种群演化模式·····	178

6.1.1	生物群落的层次性信息网络拓扑结构	178
6.1.2	生物群落内种群共生模式的多型性	179
6.1.3	生物群落内种群的增长、迁徙和消亡模式	180
6.2	基于生物群落演化的计算模式设计	182
6.2.1	基于生物群落演化的统一优化框架	182
6.2.2	基于生物群落演化的基本操作	183
6.3	生物群落建模与仿真分析	184
6.3.1	生物系统群落的形式化定义	184
6.3.2	群落拓扑结构形式化定义	185
6.3.3	基于不同种群关系生物群落演化建模与仿真	186
6.4	基于生物群落演化的优化模型与算法实例设计	193
6.4.1	协同进化算法的发展现状	193
6.4.2	多群体协同进化统一模型	194
6.4.3	多种群共生协同进化粒子群优化算法	195
6.4.4	算法性能分析	198
6.4.5	基于 MSPSO 的 RFID 网络读写器调度	203
6.5	多种群多目标人工蜂群算法	211
6.5.1	算法基本思想与流程	211
6.5.2	算法的形式化描述	212
6.5.3	算法性能分析	213
	参考文献	221
第 7 章	评注与展望	224
	引言	224
7.1	理论基础研究展望	224
7.1.1	有关生物启发计算的有效性研究	224
7.1.2	有关生物启发计算的收敛性研究	225
7.1.3	有关生物启发计算方法的评价标准	226
7.2	有关算法设计研究展望	227
7.2.1	小生境层面的有关算法设计	227
7.2.2	动态环境层面的有关算法设计	227
7.3	有关生物启发式计算应用研究展望	228
7.3.1	人工大脑	228
7.3.2	进化硬件	229
7.3.3	纳米分子生物	229
7.3.4	虚拟生物	230
7.3.5	云计算	230

参考文献	231
附录A 标准测试函数	232
A.1 单目标无约束	232
A.2 单目标有约束	236
A.3 多目标无约束	241
A.4 多目标有约束	246
拓展阅读	249

CONTENTS

1	Introduction	1
1.1	From Bionics to Bio-Inspired Computing	1
1.2	Bio-Inspired Computing and Complex Adaptive System	4
1.3	The Main Research Branch of Bio-Inspired Computing	5
1.4	The Limitation of Bio-Inspired Computing	6
	References	7
2	Reviews	8
	Introduction	8
2.1	The Review of Bio-Inspired Computing Mode	8
2.2	The Overview of Implementation Patterns for Bio-Inspired Computing	9
2.2.1	Genetic Algorithm	10
2.2.2	Particle Swarm Optimization	11
2.2.3	Ant Colony Optimization	12
2.2.4	Artificial Bee Colony Algorithm	14
2.2.5	Bacterial Foraging Algorithm	16
2.2.6	Group Search Optimizer	17
2.2.7	DNA Computing	19
2.2.8	Self Organizing Migrating Algorithm	19
2.2.9	Membrane Computing	20
2.2.10	Cellular Automata	20
2.2.11	Neural Network	21
2.2.12	Artificial Immune System	23
2.3	The Improvement Research of Bio-Inspired Computing	24
2.3.1	The Overview of Natural Computing	24

2.3.2	The Application and Development Trend of Natural Computing	28
Reference		29
3	Theoretical Basis and Unified Model	33
Introduction		33
3.1	The Evolution and Optimization	33
3.1.1	Survival Of The Fittest and Struggle for Existence	33
3.1.2	Self-Adaption and Efficiency	35
3.2	Symbiotic Evolution and Population Dynamics	37
3.2.1	Symbiosis and Coevolution	37
3.2.2	The Dynamic Descriptions of Collaborative Evolutionary for Multi-Population	41
3.3	Complex System and Emerging	42
3.3.1	Complex Adaptive System and Biological Evolution	42
3.3.2	Modeling Complex System of Biological Evolution	45
3.4	The Unified Frame Model of Bio-Inspired Computing	48
3.4.1	The Concept of the Unified Frame Of Bio-Inspired Computing Mode	49
3.4.2	Individual-Population-Community: Overall Formalization Description of Biological Inspire Calculation Model	51
3.4.3	Environment	55
References		67
4	Biological Individual Behavior Model And Adaptive Optimization Method	70
Introduction		70
4.1	The Individual Behavior Mode in Natural Evolution	70
4.1.1	Biological Individual Classification (Foraging Behavior)	70
4.1.2	Adaptive Agent	74
4.1.3	Efficiency and Optimal Foraging Theory	77
4.2	The Design of Calculation Mode Based On the Behavior of the Individual	78
4.2.1	The Unified Optimization Framework Based On the Behavior of the Individual	78
4.2.2	Basic Operations Based On the Behavior of the Individual	79
4.3	Biological Individual Modeling and Simulation Analysis	83
4.3.1	Formalization Definition of Individuals in Biological System	83
4.3.2	Modeling and Simulation Analysis of the Behavior of the Typical Biological Individuals	84

4.3.3	Interaction Relationship Description and Rules Model Between Individual And Environment	88
4.4	Bacteria Adaptive Foraging Optimization Algorithm	91
4.4.1	The Basic Idea and Process of the Algorithm	91
4.4.2	Formalization Description of the Algorithm	94
4.4.3	The Implementation Steps of the Algorithm	95
4.4.4	Efficiency Analysis of the Algorithm	95
4.5	Root Growth Algorithm	102
4.5.1	The Basic Idea and Process of the Algorithm	102
4.5.2	The Formalization Description of the Algorithm	104
4.5.3	The Implementation Steps of the Algorithm	105
4.5.4	Efficiency Analysis of the Algorithm	105
	References	121
5	Population Information Communication Mode and Life Cycle	
	Search Strategy	125
	Introduction	125
5.1	The Internal Information Exchange and Cooperation Mode in a Single Population of the Nature	125
5.1.1	Biological Population	125
5.1.2	Information Interaction	126
5.1.3	Cooperation and Distributed Control	128
5.2	The Design of Calculation Mode Based on the Behavior of Biological Group Behavior	130
5.2.1	The Unified Optimization Framework Based on the Behavior of the Population	130
5.2.2	Basic Operations Based on the Behavior of the Population ...	131
5.3	Population Modeling and Simulation Analysis	134
5.3.1	The Formalization Definition for Biological System Population	134
5.3.2	The Individual Communication Model in the Population	137
5.3.3	The Rules of Division of Labor for Task and Modeling and	141
5.3.4	Simulation of Population Evolution Mode	144
5.4	Bacteria Optimization Algorithm with Variable Population and Its Performance Analysis	149
5.4.1	The Basic Idea and Process of the Algorithm	149
5.4.2	The Formalization Description of the Algorithm	152
5.4.3	The Performance Analysis of the Algorithm	153
5.5	Life Cycle Search Optimization Algorithm and Its Performance	

Analysis	159
5.5.1 The Basic Idea and Process of the Algorithm	159
5.5.2 The Formalization Description of the Algorithm	160
5.5.3 Experiment Setting	162
5.5.4 The Performance Analysis of the Algorithm: Unconstrained Function	162
5.5.5 The Performance Analysis of the Algorithm: Constrained Function	170
References	174
6 Biological Community Evolution Model And Optimization Algorithm	178
Introduction	178
6.1 The Population Evolution Model in Biological Community Evolution	178
6.1.1 Information Network Topology with Biological Community	178
6.1.2 The Polytypism of Population Symbiotic Model in Biological Community	179
6.1.3 Growth, Migration and Death Mode of the Population in Biological Community	180
6.2 Calculation Mode Design Based on Biological Community Evolution	182
6.2.1 The Unified Optimization Framework Based on Biological Community Evolution	182
6.2.2 Basic Operations Based on Biological Community Evolution	183
6.3 The Modeling and Simulation of Biological Community	184
6.3.1 The Formalization Definition for Biological Community	184
6.3.2 The Formalization Definition for Biological Community Topological Structure	185
6.3.3 The Modeling and Simulation of Biological Community Evolution Based on the Relationship between Different Species	186
6.4 The Optimization Model and Algorithm Example Designs Based on Biological Community Evolution	193
6.4.1 State-Of-The-Art of the Cooperative Evolutionary Algorithm	193
6.4.2 The Unified Model of Cooperative Evolution with Multi-Population	194

6.4.3	Multi-Species Symbiotic Particle Swarm Optimizer	195
6.4.4	The Performance Analysis of the Algorithm	198
6.4.5	The Scheduling of RFID Network Reader Based on MOPSO	203
6.5	Multi-Swarm Multi-Objective Artificial Bee Colony Optimization Algorithm	211
6.5.1	The Basic Idea and Process of the Algorithm	211
6.5.2	The Formalization Description of the Algorithm	212
6.5.3	The Performance Analysis of the Algorithm	213
	References	221
7	Commentary and Prospect	224
	Introduction	224
7.1	Theoretical Basis	224
7.1.1	Validation Research about Bio-Inspired Computing	224
7.1.2	Convergence Research about Bio-Inspired Computing	225
7.1.3	Evaluation Criterion about Bio-Inspired Computing	226
7.2	Relevant Algorithm Design	227
7.2.1	The Algorithm Design about Niche	227
7.2.2	The Algorithm Design about Dynamic Environment	227
7.3	The Application Research Outlook of the Biological Heuristic Calculation	228
7.3.1	Artificial Brain	228
7.3.2	Evolvable Hardware	229
7.3.3	Nanometer Molecular Biology	229
7.3.4	Virtual Biology	230
7.3.5	Cloud Computing	230
	References	231
Appendix	Standard Testing Functions	232
A.1	Single-objective Unconstrained	232
A.2	Single-objective Constrained	236
A.3	Multi-objective Unconstrained	241
A.4	Multi-objective Constrained	246
	Extended Reading Materials	249