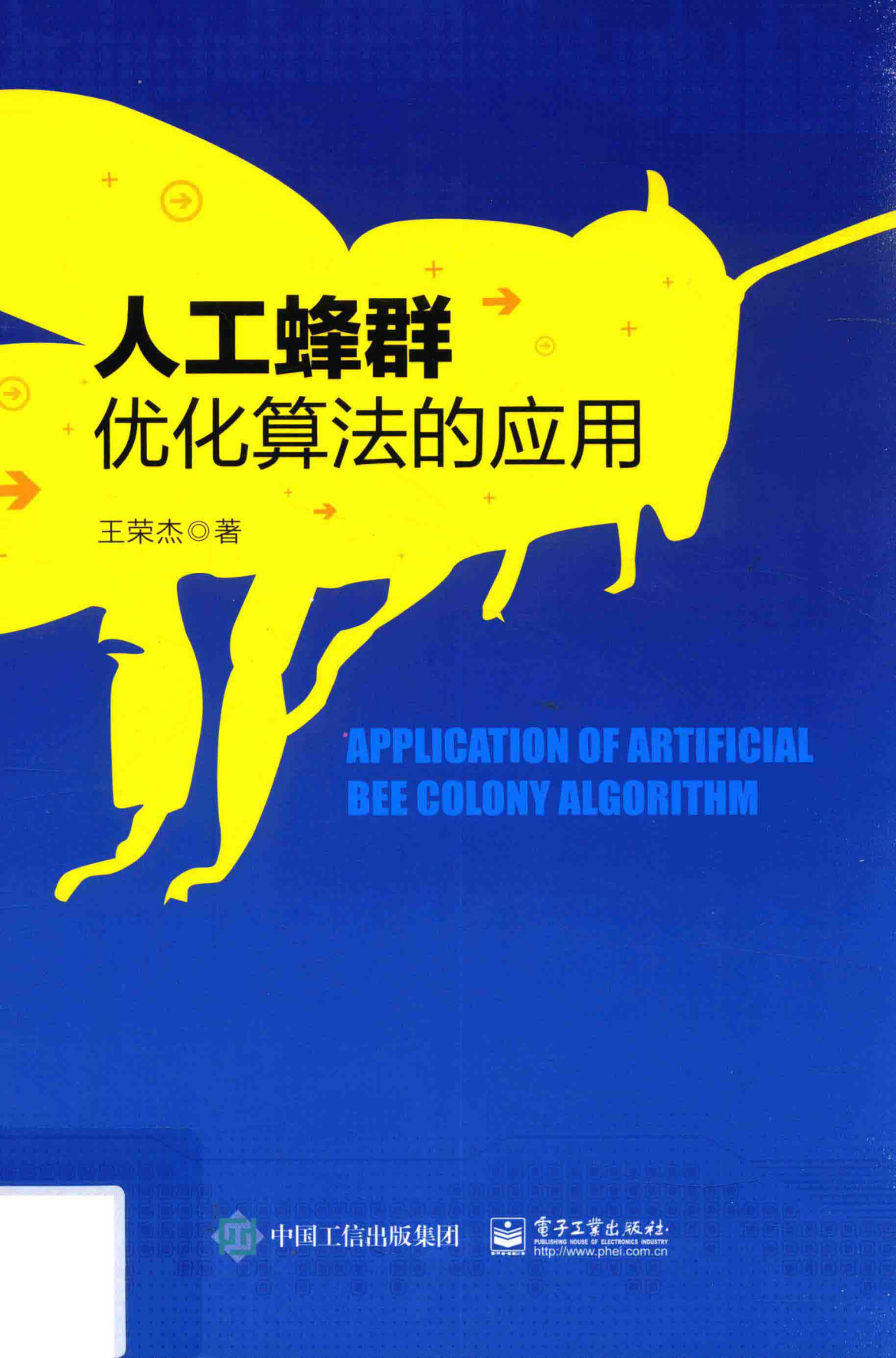




人工蜂群 优化算法的应用

王荣杰◎著

APPLICATION OF ARTIFICIAL
BEE COLONY ALGORITHM



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

人工蜂群优化算法的应用

王荣杰 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以解决工程问题为目的,针对人工蜂群优化算法应用于解决船舶工程、电力系统、信号处理、控制系统和新能源等领域的若干关键问题进行了深入分析和研究。全书共 10 章,分为 6 个主题:包括基础篇、船舶工程篇、电力系统篇、信号处理篇、控制系统篇和新能源系统篇。

本书不仅有理论上的分析,还通过 MATLAB 仿真实验予以验证,适合从事信号处理、自动化控制和智能信息处理研究的科研人员以及电子信息类专业的师生学习研究参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

人工蜂群优化算法的应用 / 王荣杰著. —北京:电子工业出版社, 2016.12

ISBN 978-7-121-30561-0

I. ①人… II. ①王… III. ①计算机算法—研究 IV. ①TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 294641 号

策划编辑:秦绪军 朱雨萌

责任编辑:秦绪军

文字编辑:朱雨萌

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱

邮编:100036

开 本:720×1000 1/16 印张:13.5 字数:227 千字

版 次:2016 年 12 月第 1 版

印 次:2016 年 12 月第 1 次印刷

定 价:49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254750。

前 言



人工蜂群算法 (Artificial Bee Colony, ABC) 是由土耳其学者 Karaboga D. 于 2005 年模拟蜜蜂寻觅花蜜的过程中提出的一种群体智能优化算法。它是通过模拟蜂群分工寻找花蜜的机理, 来解决多维优化问题的群集智能算法。众多的文献和数值优化分析实例已验证了人工蜂群算法比其他群体智能优化算法具有更好的优化机理和收敛性能。本书以解决工程问题为目的, 针对人工蜂群优化算法应用于解决船舶工程、电力系统、信号处理、控制系统和新能源等领域的若干关键问题进行了深入研究和分析。本书是根据作者针对人工蜂群优化算法的以上应用进行深入研究并提出了自己的见解和思路编写出来的。全书共 10 章, 分为 6 个主题: 基础篇, 包括第 1 章人工蜂群优化算法; 船舶工程篇, 包括第 2 章基于人工蜂群优化算法的船舶电力系统故障诊断方法和第 3 章基于人工蜂群优化机理的目标船舶方位估计方法; 电力系统篇, 包括第 4 章人工蜂群优化算法在谐波估计中的应用; 信号处理篇, 包括第 5 章基于人工蜂群优化机理的盲源有序分离算法, 第 6 章人工蜂群优化算法在复数盲源分离中的应用和第 7 章人工蜂群优化算法在单通道周期性信号盲分离的应用; 控制系统篇, 包括第 8 章基于人工蜂群优化机理的 PID 控制的 AVR 系统; 新能源系统篇, 包括第 9 章基于人工蜂群优化算法的太阳能电池模型参数的辨识和第 10 章基于人工蜂群算法的孤岛式混合能源系统优化配置方法。这些应用不仅有理论上的分析, 还通过 MATLAB 仿真实验予以验证。

人类文明不断进步, 科学发展日新月异, 本书在科学探索的道路上还有诸多



不尽之处,但笔者谨怀抛砖引玉之心,希望能够为后续研究奠定基础,提供参考,启发思路,共同为人工蜂群优化算法在工程应用领域的研究工作不懈努力。

本书受国家自然科学基金(51309116)、农业部渔业装备与工程技术重点实验室基金(2016002)、福建省自然科学基金(2016J01736) 和福建省教育厅杰青科研基金(JA14169)资助。此外,要特别感谢我的研究生尹川为本书的第 2、4 章提供思路 and 进行 MATLAB 仿真实验。

王荣杰

2016 年 9 月

目 录



基础篇

第 1 章 人工蜂群优化算法	2
1.1 蜜蜂的觅食行为	2
1.2 人工蜂群优化算法	4
1.2.1 原型人工蜂群优化算法 I	4
1.2.2 原型人工蜂群优化算法 II	7
1.3 本书的内容与组织结构	9
1.3.1 本书的内容	9
1.3.2 本书的组织结构	11
参考文献	13

船舶工程篇

第 2 章 基于人工蜂群优化算法的船舶电力系统故障诊断方法	16
2.1 船舶电力系统故障诊断研究概况	16



2.2	保护继电器或断路器拒动情况的目标函数建立	17
2.2.1	船舶电力系统故障类型分析	17
2.2.2	船舶电力系统故障诊断的目标函数	20
2.3	基于人工蜂群优化算法的船舶电力系统故障诊断方法	37
2.4	仿真实验分析	38
2.5	本章小结	40
	参考文献	41
第3章	基于人工蜂群优化机理的目标船舶方位估计方法	43
3.1	船舶方位估计介绍	43
3.2	目标船舶方位估计问题描述	44
3.3	基于人工蜂群优化机理的目标船舶 DOA 方位估计	46
3.4	仿真分析	47
3.5	本章小结	52
	参考文献	53

电力系统篇

第4章	人工蜂群优化算法在谐波估计中的应用	56
4.1	谐波估计方法研究概况	56
4.2	谐波估计问题描述	57
4.3	基于群智能优化算法的谐波估计	58
4.3.1	相位的估计	58
4.3.2	幅值的估计	59



4.3.3 群智能优化算法	59
4.3.4 基于群体智能优化算法的谐波估计	64
4.4 仿真实验分析	65
4.4.1 无噪声的谐波估计	66
4.4.2 有噪声的谐波估计	69
4.5 本章小结	70
参考文献	72

信号处理篇

第 5 章 基于人工蜂群优化机理的盲源有序分离算法	76
5.1 盲源分离的基本概念	76
5.2 盲源有序分离问题描述	77
5.3 基于人工蜂群优化机理的盲源有序分离算法	80
5.3.1 PSO 算法	80
5.3.2 DE 算法	81
5.3.3 基于群体智能优化算法的盲源有序分离	83
5.4 仿真实验分析	84
5.5 本章小结	96
参考文献	96
第 6 章 人工蜂群优化算法在复数盲源分离中的应用	100
6.1 复数盲源分离研究概况	100
6.2 复数盲源分离问题描述	101



6.3	改进的人工蜂群优化算法	103
6.4	基于 ABC 优化的有序复值盲源分离算法	106
6.4.1	基于交叉验证技术的复数源信号个数估计	106
6.4.2	复值盲源抽取的代价函数	107
6.4.3	基于 ABC 优化的有序复值盲抽取算法	111
6.5	基于 ABC 的欠定复数盲源分离算法	113
6.6	仿真分析	117
6.6.1	改进的 ABC 算法优化性能的测试	117
6.6.2	基于 ABC 优化的有序复值 BSS 算法的仿真与分析	123
6.6.3	基于 ABC 优化的欠定复数 BSS 算法的仿真与分析	133
6.7	本章小结	135
	参考文献	135
第 7 章	人工蜂群优化算法在单通道周期性信号盲分离的应用	138
7.1	单通道盲源分离介绍	138
7.2	单通道周期性信号盲分离问题描述	139
7.3	周期性混合信号的单通道盲分离算法	140
7.3.1	希尔伯特变换	140
7.3.2	基于交叉验证技术的阶数估计	141
7.3.3	利用人工蜂群优化算法的基频和源数估计	142
7.3.4	基于自适应滤波的谐波幅值估计	143
7.4	仿真分析	145



7.5 本章小结	149
参考文献	150

控制系统篇

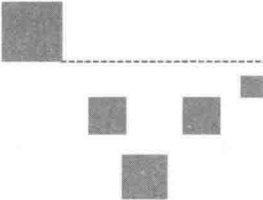
第 8 章 基于人工蜂群优化机理的 PID 控制的 AVR 系统	154
8.1 AVR 系统和 PID 控制器的介绍	154
8.2 AVR 系统模型	155
8.3 基于人工蜂群优化机理的 PID 控制的 AVR 系统	158
8.3.1 PID 控制的 AVR 系统	159
8.3.2 基于人工蜂群优化机理的 PID 控制的 AVR 系统	159
8.4 仿真分析	161
8.4.1 优化算法测试	161
8.4.2 人工蜂群算法优化的 PID 控制的 AVR 系统仿真与分析	163
8.5 本章小结	167
参考文献	167

新能源系统篇

第 9 章 基于人工蜂群优化算法的太阳能电池模型参数的辨识	170
9.1 太阳能电池模型辨识原理介绍	170
9.2 太阳能电池模型辨识问题描述	172
9.2.1 单二极管等效模型	172
9.2.2 双二极管等效模型	173



9.3	基于人工蜂群优化算法的太阳能电池模型参数的辨识	174
9.4	仿真分析	175
9.5	本章小结	184
	参考文献	185
第 10 章	基于人工蜂群算法的孤岛式混合能源系统优化配置方法	187
10.1	混合能源系统配置优化方法研究概况	187
10.2	孤岛式光伏/风/柴油机/储能混合能源系统描述	188
10.2.1	光伏发电子系统	189
10.2.2	风机系统	189
10.2.3	电池组储能系统	189
10.2.4	柴油机	190
10.3	基于人工蜂群算法的孤岛式混合能源系统优化配置方法	191
10.3.1	目标函数	191
10.3.2	基于人工蜂群算法的混合智能系统优化配置方法的实现	192
10.4	仿真实验分析	193
10.5	本章小结	200
	参考文献	200
后记		202



基础篇

人工蜂群优化算法

1.1 蜜蜂的觅食行为

人工蜂群优化算法是模拟蜜蜂寻觅花蜜行为的一种群体智能优化算法。Tereshko V.建立了一种基于反应扩散方程组的蜂群觅食行为模型^[1,2]，该模型引出了一类包含食物源、雇佣觅食者和非雇佣觅食者三个必要元素的蜂群群体智能以及募集食物源和放弃食物源的两种蜂群行为的引领模型。Tereshko V.对他建立的模型的主元素诠释如下。

(1) 食物源：为了选择食物源，觅食的蜜蜂要评估与洞穴的距离、能源的花样、花蜜的味道和提取能量的难易程度等与食物源相关的属性。为了便于分析，食物源的质量只用一个变量来描述。

(2) 雇佣觅食者：提取已寻找到食物源属性的蜜蜂，称为雇佣觅食者。它主要的工作是将食物源的信息传递和共享给在洞穴等待的同伴，传递或共享的信息包括：距离、方向和有食物存在的概率。雇佣觅食的蜜蜂在本书中，我们称它为工蜂（Employed Bee，EB）。



(3) 非雇佣觅食者：寻找食物源的觅食蜜蜂，称为非雇佣觅食者；非雇佣觅食者可能是随机寻找环境的观察蜂（Onlooker Bee, OB），也可能是根据工蜂所传递的信息尝试寻找食物源的侦察蜂（Scout Bee, SB）。

蜜蜂间的信息交换在收集知识信息中非常重要。由工蜂传递回来的信息尽量在洞穴里的蜜蜂们之间交流辨识，更重要的是将这些信息在洞穴与飞舞区之间进行交流，与食物源质量有关的信息将在飞舞区的蜜蜂们之间交流，这将使观察蜂发现舞池中丰富的食物源，并且它们大部分都会决定自己去提取最合适食物源的属性。一个食物源的适合度信息越多，它成为观察蜂们选择的可能性就越高，而雇佣觅食蜜蜂们选择分享这些信息的概率与食物源的适合度成正比，并以摇摆飞舞的方式分享。综上所述，募集食物源的概率也是与食物源的适合度信息量成正比的。

图 1-1 所示为蜜蜂们觅食花蜜行为的示意图，以两个食物源为例，为方便起见，将它们分别用 A 和 B 表示。在觅食过程刚开始时，潜在的 EB 工蜂均为非雇佣的觅食者；如果在洞穴附近这群觅食的蜜蜂没有获取到关于食物的信息，对于它们来说将有两个选择：

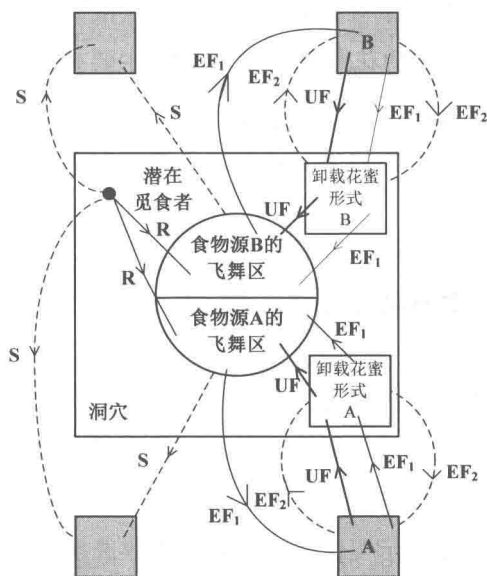


图 1-1 蜜蜂觅食花蜜行为的示意图



(1) 在一些内部或可能的外部线索 S 的激励下, 自发地成为侦察蜂并开始在洞穴附近搜索食物源;

(2) 看到摇摆飞舞后, 它们可能被招募去搜索新的食物源 R 。

蜜蜂发现食物源后, 蜜蜂们将尽自己的能力记忆食物源的位置, 然后立即开始采集食物。因此, 这些蜜蜂将变成雇佣觅食者 (工蜂), 它们将从食物源提取一些花蜜带回洞穴, 并把花蜜存起来。接下来, 雇佣觅食者有如下的选择:

(1) 在放弃食物源 (UF) 后成为不受约束的跟随者;

(2) 在返回相同食物源 (EF_1) 前飞舞并招募洞穴里的同伴;

(3) 在没有招募同伴 (EF_2) 的情况下继续觅食物源。

1.2 人工蜂群优化算法

根据第 1.1 节蜜蜂寻觅花蜜过程的分工, 蜂群可分为 3 类: EB 工蜂主要搜索新花蜜源, 并将信息传递给观察蜂; OB 观察蜂根据工蜂传递的信息在附近搜索新的花蜜源, 并选出合适的花蜜源; SB 侦察蜂主要寻找新的蜜源来代替质量差的花蜜源; 人工蜂群优化算法就是模拟蜜蜂的这种寻觅花蜜过程的一种群体智能优化算法。据我们所知, 原型的人工蜂群优化算法有两种版本, 它们描述分别如第 1.2.1 节和 1.2.2 节所述。

1.2.1 原型人工蜂群优化算法 I

本节介绍这种版本的人工蜂群算法是由土耳其学者 Karaboga D. 于 2005 年提出模拟蜜蜂寻觅花蜜过程的一种群体智能优化算法^[4,5], 广大学者们认可原型的人工蜂群优化算法就是这种版本的, 它的实现步骤如表 1-1 所示。在人工蜂群算法的框架下, 食物源的位置表示要优化问题的可能候选解, 食物源中花蜜的数量与候选解的适应度 (目标函数值) 相对应; 而蜂群的规模等于待优化解的数量。



表 1-1 模拟蜜蜂觅食花蜜的优化算法实现步骤

```

初始化蜂群;
while 收敛条件尚没有满足。
    EB 工蜂寻找食物源;
    根据花蜜数量, OB 观察蜂寻找食物源;
    将发现新食物源的区域分享给 SB 侦察蜂;
    记录至目前找到的最好食物源。
end

```

算法的第一步, ABC 要随机产生相当于食物源位置的 N_p 个优化解的初始值, N_p 为蜂群规模; 每个候选优化解 $\theta_l(l=1, 2, \dots, N_p)$ 是一个 D 维的向量, D 表示待优化解中参数的个数。初始化后, EB、OB 和 SB 将进行 $k_{\max}$ 次循环寻找食物源的搜索过程, $k_{\max}$ 为最大迭代次数。在这个过程中, EB 的任务是根据当前收集到的信息, 在原候选解的基础上修改并产生新的候选解以及计算其适应度。如果新的候选解的适应度高于原先的候选解的适应度, 则新的候选解代替原先的候选解; 否则, 保留原先的候选解。所有的 EB 完成搜索任务后, 它们再将找到食物源位置 (候选解) 和相应的花蜜的数量 (适应度) 信息分享给 OB。OB 首先评估从 EB 传递过来的候选解的适应度, 然后根据花蜜数量相应的概率来选择食物源。在这种情况下, OB 将在原候选解的基础上更新候选解并计算其适应度, 如果新的候选解的适应度高于原先的候选解, 则新的候选解代替原先的候选解; 否则, 保留原先的候选解。如果被发现食物源的花蜜太劣质, 它将被 SB 随机用寻找新的食物源来代替。

为了便于分析, 如表 1-2 所示的伪代码描述了 ABC 算法的寻优过程。表 1-2 中的 $\theta = [\theta(l, d)]_{N_p \times D}$, $\theta(l, d)$ 是由式 (1-1) 随机产生的。

$$\theta(l, d) = \theta_{\min}(d) + \text{rand}[0 \ 1][\theta_{\max}(d) - \theta_{\min}(d)] \quad (1-1)$$

式中, $\theta_{\min}(d)$ 和 $\theta_{\max}(d)$ 分别为优化解的第 d 维最小值和最大值, $d=1, 2, \dots, D$, D 为优化解参数的维数; $l=1, 2, \dots, N_p$, $\text{rand}[0 \ 1]$ 表示在 $0 \sim 1$ 产生一个随机数。

EB 阶段和 OB 阶段的新优化解由式 (1-2) 更新。



$$\bar{\theta}(l, d) = \theta(l, d) + \phi_{ld}[\theta(l, d) - \theta(r, d)] \quad (1-2)$$

式中, $\bar{\theta}(l, d)$ 可以是 EB 的更新解 $\theta_{EB}(l, d)$, 也可以是 OB 的更新解 $\theta_{OB}(l, d)$, ϕ_{ld} 为 $-1 \sim 1$ 的一个随机数; r 为 $[1 \ N_p]$ 之间随机产生一个整数, 它为一个与 l 相邻的序号, 即 $r \neq l$ 。从式 (1-2) 中可看出, $\bar{\theta}(l, d)$ 的变化与 $\theta(l, d)$ 和 $\theta(r, d)$ 之间的差值成正比, 并且自适应地递减。

OB 阶段的概率由式 (1-3) 计算。

$$p_l = \frac{F(l)}{\sum_{l=1}^{N_p} F(l)} \quad l = 1, 2, \dots, N_p \quad (1-3)$$

式中, $F(l)$ 为第 l 个优化解的目标函数值。

表 1-2 ABC 优化算法的寻优过程

初始化: 给定 $k_{\max}$, k_{limit} ; 由式 (1-1) 随机产生待优化解 $\theta = [\theta(l, d)]_{N_p \times D}$ 的初始值, N_p 为蜂群规模, D 为待优化的解的维数;

迭代次数 $k=1$ 。

while (迭代次数 $k \leq k_{\max}$) 或 (没有达到预设收敛条件)

EB 优化阶段:

由式 (1-2) 更新 EB 的优化解, 并计算它的目标函数;

基于目标函数值, 由贪婪法决定 EB 阶段的新解。

由式 (1-3) 计算 N_p 个优化解的概率;

OB 优化阶段:

根据式 (1-3) 计算的概率, 决定哪个优化解为需要更新;

由式 (1-2) 更新 OB 的优化解, 并计算它的目标函数;

同样基于目标函数值, 由贪婪法决定新解。

SB 优化阶段:

对于连续 k_{limit} 次没得到进一步更优的解, 由式 (1-1) 产生新解代替它。

选出至目前最优的解;

迭代次数 $k=k+1$;

end

返回全局最优值。