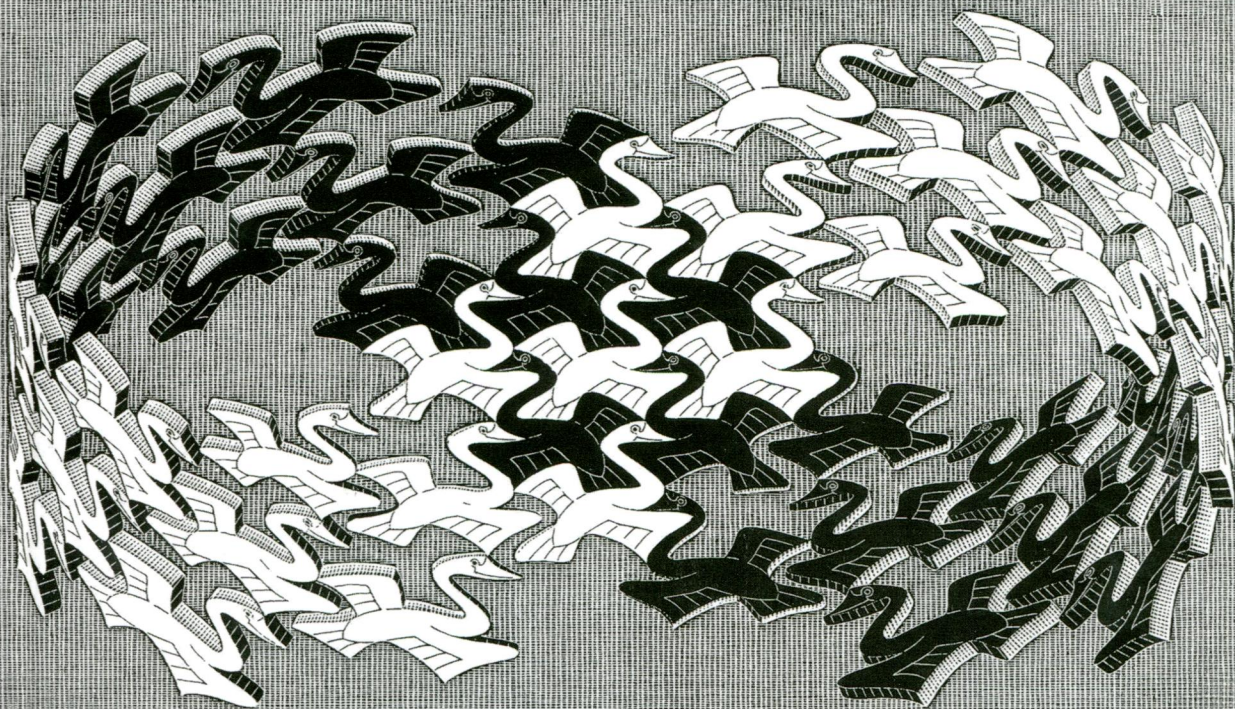


А. П. Карпенко

# Современные алгоритмы поисковой оптимизации

Алгоритмы вдохновленные природой



А.П. Карпенко

# СОВРЕМЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОИСКОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

## Алгоритмы, вдохновленные природой

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по направлению подготовки  
230100 «Информатика и вычислительная техника»*

 **ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

Москва  
2014

УДК 519.6

ББК 22.19

К26

**Р е ц е н з е н т ы :**

заведующий кафедрой «Информационные технологии в управлении»  
Российской академии народного хозяйства и государственной службы  
при Президенте Российской Федерации д-р техн. наук, проф. *А.Н. Данчул*;  
профессор кафедры физико-математических методов управления  
МГУ им. М.В. Ломоносова, Главный научный сотрудник лаборатории  
оптимизации управляемых систем ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН,  
д-р техн. наук *Н.Б. Филимонов*

**Карпенко А. П.**

К26

Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой : учебное пособие / А. П. Карпенко. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 446, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3949-2

Учебное пособие посвящено, преимущественно, рассмотрению современных стохастических популяционных алгоритмов решения однокритериальной задачи оптимизации. Рассмотрены методы повышения эффективности этих алгоритмов путем их гибридизации и метаоптимизации. Наряду с однокритериальной рассматривается задача многокритериальной оптимизации и популяционные алгоритмы ее решения. Представлены методы распараллеливания указанных алгоритмов. Содержит большое число примеров решения тестовых и практически значимых задач оптимизации.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 230100 «Информатика и вычислительная техника». Может быть полезно для всех студентов, изучающих курс «Методы оптимизации» и близкие по тематике курсы. Материал пособия представляет интерес также для аспирантов и специалистов, использующих в своей работе методы, алгоритмы и программы оптимизации.

УДК 519.6

ББК 22.19

ISBN 978-5-7038-3949-2

© Карпенко А. П., 2014

© Оформление. Издательство МГТУ  
им. Н.Э. Баумана, 2014

## Оглавление

---

Предисловие.....	3
Основные обозначения.....	5
Введение.....	8
<b>Глава 1. Постановка задачи поисковой оптимизации и непопуляционные стохастические алгоритмы ее решения.....</b>	<b>14</b>
1.1. Постановка и классификация алгоритмов решения детерминированной задачи поисковой оптимизации.....	14
1.1.1. Постановка задачи.....	14
1.1.2. Классификация задач оптимизации.....	16
1.1.3. Классификация алгоритмов оптимизации.....	19
1.2. Локальная безусловная оптимизация.....	22
1.2.1. Одношаговые алгоритмы.....	22
1.2.2. Многошаговые алгоритмы.....	26
1.2.3. Многоточечные алгоритмы.....	29
1.3. Локальная условная оптимизация.....	33
1.3.1. Алгоритмы на основе сведения задачи условной оптимизации к задаче безусловной оптимизации.....	34
1.3.2. Алгоритмы, не использующие редукцию задачи условной оптимизации к задаче безусловной оптимизации.....	42
1.4. Глобальная оптимизация.....	46
1.4.1. Алгоритмы одномерной редукции.....	46
1.4.2. Алгоритмы случайного поиска.....	53
1.4.3. Поиск с запретами.....	62
<i>Вопросы для самопроверки.....</i>	<i>63</i>
<b>Глава 2. Эволюционные алгоритмы.....</b>	<b>65</b>
2.1. Биологические предпосылки и общая схема эволюционных алгоритмов.....	66
2.2. Кодирование особей.....	69
2.3. Операторы мутации.....	75
2.3.1. Бинарные мутаторы.....	75
2.3.2. Вещественные мутаторы.....	77
2.4. Операторы скрещивания (кроссоверы).....	80
2.4.1. Бинарные кроссоверы.....	80
2.4.2. Вещественные кроссоверы.....	84
2.5. Операторы отбора.....	88
2.5.1. Операторы управления популяцией.....	88
2.5.2. Операторы селекции.....	92
2.6. Другие операторы и процедуры.....	96
2.7. Типовые генетические алгоритмы.....	102
2.8. Теория шим.....	106
2.9. Эволюционная стратегия.....	109
2.10. Эволюционное программирование.....	112
2.11. Дифференциальная эволюция.....	114
2.12. Генетический коэволюционный алгоритм.....	117
2.13. Пример применения генетического алгоритма.....	121
<i>Вопросы для самопроверки.....</i>	<i>125</i>

<b>Глава 3. Алгоритмы роя частиц, колонии муравьев и пчелиного роя</b> .....	127
3.1. Оптимизация роем частиц.....	127
3.1.1. Канонический алгоритм роя частиц.....	127
3.1.2. Модификации канонического алгоритма роя частиц.....	133
3.1.3. Топологии соседства частиц.....	137
3.1.4. Алгоритмы с динамической топологией соседства частиц.....	141
3.1.5. Гибридный алгоритм на основе роя частиц и имитации отжига.....	143
3.1.6. Пример решения задачи с использованием алгоритма роя частиц.....	146
3.2. Муравьиная оптимизация.....	147
3.2.1. Бионические предпосылки.....	148
3.2.2. Алгоритм непрерывной оптимизации колонией муравьев.....	150
3.2.3. Алгоритм непрерывно взаимодействующей колонии муравьев.....	153
3.2.4. Непрерывный ортогональный алгоритм муравьиной колонии.....	159
3.2.5. Гибридный алгоритм непрерывно взаимодействующей муравьиной колонии.....	163
3.2.6. Пример применения модифицированного алгоритма <i>CIAC</i> .....	170
3.3. Оптимизация пчелиным роем.....	175
3.3.1. Бионические предпосылки.....	175
3.3.2. Пчелиный алгоритм.....	176
3.3.3. Алгоритм колонии искусственных пчел.....	183
3.3.4. Гибридный алгоритм.....	190
<i>Вопросы для самопроверки</i> .....	193
<b>Глава 4. Другие популяционные алгоритмы, вдохновленные живой природой</b> .....	195
4.1. Искусственные иммунные системы.....	195
4.1.1. Биологические основы.....	195
4.1.2. Оптимизация с помощью модели иммунной сети.....	198
4.1.3. Алгоритм на основе искусственной микроиммунной системы.....	200
4.1.4. Пример алгоритма искусственной иммунной сети.....	201
4.2. Бактериальная оптимизация.....	204
4.2.1. Бионические предпосылки.....	204
4.2.2. Канонический алгоритм бактериальной оптимизации.....	205
4.2.3. Кооперативная бактериальная оптимизация.....	210
4.2.4. Алгоритм, использующий эффект роя бактерий.....	211
4.2.5. Гибридные бактериальные алгоритмы.....	212
4.3. Алгоритмы, вдохновленные роем светлячков.....	213
4.3.1. Алгоритм светлячков.....	213
4.3.2. Алгоритм оптимизации роем светлячков.....	216
4.4. Сорняковый алгоритм.....	218
4.4.1. Биологические основы.....	218
4.4.2. Схема алгоритма.....	219
4.5. Кукушкин поиск.....	221
4.5.1. Биологические предпосылки.....	221
4.5.2. Схема алгоритма.....	222
4.5.3. Эффективность алгоритма.....	223
4.6. Алгоритмы, вдохновленные поведением обезьян.....	227
4.6.1. Обезьяний поиск.....	227
4.6.2. Обезьяний алгоритм.....	228
4.7. Прочие алгоритмы.....	230

4.7.1 Тасующий алгоритм прыгающих лягушек.....	230
4.7.2. Алгоритм, инспирированный летучими мышами.....	231
4.7.3. Поиск косяком рыб.....	234
4.7.4. Алгоритм растущих деревьев.....	237
<i>Вопросы для самопроверки.....</i>	<i>238</i>
<b>Глава 5. Популяционные алгоритмы, инспирированные неживой природой, человеческим обществом, и другие популяционные алгоритмы.....</b>	<b>239</b>
5.1. Гармонический поиск.....	239
5.1.1. Канонический алгоритм.....	240
5.1.2. Некоторые модификации алгоритма гармонического поиска.....	242
5.1.3. Пример применения модифицированного алгоритма гармонического поиска.....	243
5.2. Алгоритм гравитационного поиска.....	246
5.3. Электромагнитный поиск.....	250
5.3.1. Электромагнитный алгоритм.....	250
5.3.2. Алгоритм поиска системой зарядов.....	254
5.4. Алгоритм эволюции разума.....	255
5.4.1. Простой алгоритм эволюции разума.....	256
5.4.2. Расширенный алгоритм.....	257
5.4.3. Улучшенный алгоритм.....	259
5.4.4. Хаотический алгоритм эволюции разума.....	260
5.5. Стохастический диффузионный поиск.....	261
5.6. Культурный алгоритм.....	263
5.6.1. Общая схема алгоритма.....	263
5.6.2. Построение и коррекция пространства убеждений.....	265
5.6.3. Культурная модификация генетических операторов.....	267
5.7. Меметические алгоритмы.....	268
5.7.1 Общая схема алгоритма.....	268
5.7.2. Гиперэвристические мультимемные адаптивные алгоритмы.....	269
5.7.3. Самоадаптирующиеся мультимемные алгоритмы.....	271
5.8. Самоорганизующийся миграционный алгоритм.....	272
5.9. Алгоритмы рассеянного поиска и прокладки путей.....	274
5.9.1. Алгоритм рассеянного поиска.....	274
5.9.2. Алгоритм прокладки путей.....	278
<i>Вопросы для самопроверки.....</i>	<i>279</i>
<b>Глава 6. Гибридизация популяционных алгоритмов.....</b>	<b>280</b>
6.1. Общие принципы гибридизации.....	280
6.1.1. Одноуровневая классификация Ванга.....	280
6.1.2. Двухуровневая классификация Эль-Абда и Камэла.....	282
6.1.3. Четырехуровневая классификация Рейдла.....	283
6.2. Вложенные алгоритмы.....	285
6.2.1. Высокоуровневая гибридизация вложением.....	285
6.2.2. Низкоуровневая гибридизация вложением.....	287
6.3. Гибридизация по схеме препроцессор / постпроцессор.....	288
6.3.1. Последовательная гибридизация.....	288
6.3.2. Конвейерная гибридизация.....	290
6.4. Коалгоритмы.....	296
6.4.1. Классификация коэволюционных алгоритмов.....	296
6.4.2. Пример коалгоритма.....	299
<i>Вопросы для самопроверки.....</i>	<i>301</i>

<b>Глава 7. Метаоптимизация популяционных алгоритмов</b> .....	302
7.1. Постановка метазадачи оптимизации.....	302
7.1.1. Статическая параметрическая метаоптимизация.....	302
7.1.2. Динамическая параметрическая метаоптимизация.....	304
7.1.3. Структурная метаоптимизация.....	307
7.1.4. Структурно-параметрическая метаоптимизация.....	308
7.2. Классификация методов метаоптимизации.....	309
7.2.1. Классификация Эйбена.....	309
7.2.2. Классификация Смита – Фогарти.....	312
7.3. Однократная настройка параметров.....	313
7.3.1. Статическая параметрическая метаоптимизация.....	313
7.3.2. Динамическая параметрическая метаоптимизация.....	315
7.4. Перманентная настройка параметров.....	316
7.4.1. Схема подхода.....	316
7.4.2. Задачи кластеризации и собственно метаоптимизации.....	317
7.4.3. Особенности программной реализации подхода.....	318
7.4.4. Исследование эффективности подхода.....	320
7.5. Адаптивное управление параметрами.....	324
7.5.1. Гомогенные методы.....	325
7.5.2. Гетерогенные методы.....	326
7.6. Самоадаптивное управление параметрами.....	327
7.6.1. Расширение вектора варьируемых параметров базовой задачи.....	327
7.6.2. Козволюция типа соперничества.....	328
7.7. Структурная метаоптимизация.....	328
<i>Вопросы для самопроверки</i> .....	330
<b>Глава 8. Популяционные алгоритмы многоцелевой оптимизации</b> .....	332
8.1. Задача многоцелевой оптимизации (МЦО-задача) и алгоритмы ее решения.....	332
8.1.1. Постановка задачи.....	333
8.1.2. Классификация алгоритмов решения МЦО-задачи.....	336
8.2. Непопуляционные алгоритмы Парето-аппроксимации.....	340
8.2.1. Сеточные алгоритмы.....	340
8.2.2. Алгоритмы на основе свертки целевых функций.....	341
8.3. Популяционные алгоритмы Парето-аппроксимации.....	345
8.3.1. Лексикографическая турнирная селекция.....	345
8.3.2. Алгоритмы чередующихся целевых функций.....	346
8.3.3. Алгоритмы на основе ранжирования агентов.....	349
8.3.4. Алгоритмы, не использующие ранжирование агентов.....	353
8.4. Критерии оценки качества Парето-аппроксимации.....	357
8.4.1. Унарные критерии.....	358
8.4.2. Бинарные критерии.....	360
8.5. Методы обеспечения качества Парето-аппроксимации.....	365
8.5.1. Нишевание.....	366
8.5.2. Другие методы.....	367
8.6. Примеры Парето-аппроксимации.....	370
8.6.1. Парето-аппроксимация на основе генетического алгоритма.....	370
8.6.2. Аппроксимация с помощью алгоритма роя частиц.....	373
8.6.3. Аппроксимация на основе алгоритма колонии муравьев.....	379
8.6.4. Аппроксимация на основе пчелиного алгоритма.....	380
<i>Вопросы для самопроверки</i> .....	383

<b>Глава 9. Параллельные популяционные алгоритмы поисковой оптимизации.....</b>	<b>384</b>
9.1. Классификация и основные типы параллельных ЭВМ.....	384
9.1.1. Классификация параллельных вычислительных систем.....	385
9.1.2. Основные типы параллельных ЭВМ.....	389
9.2. Балансировки загрузки параллельной ЭВМ.....	393
9.2.1. Задача оптимального отображения алгоритма на архитектуру параллельной ЭВМ.....	393
9.2.2. Постановка задачи балансировки загрузки.....	395
9.2.3. Методы статической балансировки загрузки.....	396
9.2.4. Методы динамической балансировки загрузки.....	400
9.2.5. Задача согласования алгоритма с архитектурой параллельной ЭВМ.....	403
9.3. Методы распараллеливания популяционных алгоритмов оптимизации.....	404
9.3.1. Глобальная модель параллелизма.....	405
9.3.2. Островная модель параллелизма.....	407
9.3.3. Диффузная модель параллелизма.....	409
9.3.4. Другие модели параллелизма.....	409
9.4. Примеры параллельного решения задач оптимизации.....	411
9.4.1. Параллельный алгоритм роя частиц <i>GIPSO</i> .....	411
9.4.2. Параллельный алгоритм Парето-аппроксимации роем частиц.....	417
<i>Вопросы для самопроверки</i> .....	419
Литература.....	420
<b>Приложение А. История разработки популяционных алгоритмов поисковой оптимизации.....</b>	<b>422</b>
<b>Приложение Б. Тестовые функции для одноцелевой задачи глобальной оптимизации.....</b>	<b>424</b>
<b>Приложение В. Тестовые задачи многоцелевой оптимизации.....</b>	<b>432</b>
Предметный указатель.....	434