

# Содержание

Предисловие	16
Благодарности	17
<b>Глава 1. Введение</b>	<b>19</b>
1.1. История	19
1.2. Процесс оптимизации	22
1.3. Основная задача оптимизации	23
1.4. Ограничения	25
1.5. Критические точки	26
1.6. Условия локального минимума	27
1.6.1. Одномерный случай	28
1.6.2. Многомерный случай	29
1.7. Изолинии	31
1.8. Обзор	32
1.9. Резюме	36
1.10. Упражнения	36
<b>Глава 2. Производные и градиенты</b>	<b>37</b>
2.1. Производные	37
2.2. Производные нескольких переменных	39
2.3. Численное дифференцирование	41
2.3.1. Методы конечных разностей	42
2.3.2. Метод комплексного шага	44
2.4. Автоматическое дифференцирование	45
2.4.1. Метод прямого аккумуляирования	46
2.4.2. Метод обратного аккумуляирования	49
2.5. Резюме	51
2.6. Упражнения	51
<b>Глава 3. Метод интервалов</b>	<b>53</b>
3.1. Одномодальность	53
3.2. Нахождение начального интервала	54
3.3. Алгоритм поиска Фибоначчи	55
3.4. Метод золотого сечения	58
3.5. Метод квадратичной аппроксимации	61
3.6. Метод Шуберта–Пиявского	63

3.7. Метод бисекции	67
3.8. Резюме	70
3.9. Упражнения	70
<b>Глава 4. Метод локального спуска</b>	<b>71</b>
4.1. Метод спуска	71
4.2. Линейный поиск	72
4.3. Приближенный линейный поиск	74
4.4. Методы доверительных областей	79
4.5. Условия завершения итераций	84
4.6. Резюме	85
4.7. Упражнения	85
<b>Глава 5. Методы первого порядка</b>	<b>87</b>
5.1. Градиентный спуск	87
5.2. Метод сопряженных градиентов	89
5.3. Метод моментов	93
5.4. Метод Нестерова	94
5.5. Метод Adagrad	95
5.6. Метод RMSProp	96
5.7. Метод Adadelta	97
5.8. Метод Adam	98
5.9. Гиперградиентный спуск	100
5.10. Резюме	102
5.11. Упражнения	102
<b>Глава 6. Методы второго порядка</b>	<b>105</b>
6.1. Метод Ньютона	105
6.2. Метод секущих	109
6.3. Квазиньютоновские методы	110
6.4. Резюме	114
6.5. Упражнения	115
<b>Глава 7. Прямые методы</b>	<b>119</b>
7.1. Циклический поиск координат	119
7.2. Метод Пауэлла	121
7.3. Метод Хука–Дживса	123
7.4. Обобщенный поиск по шаблону	124

## **8** СОДЕРЖАНИЕ

7.5. Симплекс-метод Нелдера–Мида	126
7.6. Разделенные прямоугольники	131
7.6.1. Односторонний метод DIRECT	132
7.6.2. Многомерный метод DIRECT	136
7.6.3. Реализация	137
7.7. Резюме	142
7.8. Упражнения	143

## **Глава 8. Стохастические методы** **145**

8.1. Шумный спуск	145
8.2. Метод адаптивного прямого поиска на сетке	147
8.3. Имитация отжига	150
8.4. Метод перекрестной энтропии	157
8.5. Стратегии естественной эволюции	159
8.6. Адаптация ковариационной матрицы	161
8.7. Резюме	167
8.8. Упражнения	168

## **Глава 9. Популяционные методы** **169**

9.1. Инициализация	169
9.2. Генетические алгоритмы	171
9.2.1. Хромосомы	171
9.2.2. Инициализация	172
9.2.3. Отбор	173
9.2.4. Кроссовер	175
9.2.5. Мутация	177
9.3. Дифференциальная эволюция	179
9.4. Оптимизация методом роя частиц	180
9.5. Алгоритм светлячка	182
9.6. Метод кукушки	184
9.7. Гибридные методы	186
9.8. Резюме	188
9.9. Упражнения	188

## **Глава 10. Ограничения** **189**

10.1. Условная оптимизация	189
10.2. Виды ограничений	190
10.3. Преобразования для снятия ограничений	191

10.4. Множители Лагранжа	193
10.5. Ограничения в виде неравенства	196
10.6. Двойственность	199
10.7. Методы штрафных функций	203
10.8. Расширенный метод Лагранжа	206
10.9. Методы внутренних точек	207
10.10. Резюме	209
10.11. Упражнения	209
<b>Глава 11. Оптимизация с линейными ограничениями</b>	<b>213</b>
11.1. Условная оптимизация	213
11.1.1. Общий вид	215
11.1.2. Стандартный вид	215
11.1.3. Форма с ограничениями в виде равенства	217
11.2. Симплекс-метод	220
11.2.1. Вершины	220
11.2.2. Необходимые условия первого порядка	224
11.2.3. Этап оптимизации	225
11.2.4. Этап инициализации	229
11.3. Двойственные сертификаты	233
11.4. Резюме	234
11.5. Упражнения	235
<b>Глава 12. Многокритериальная оптимизация</b>	<b>237</b>
12.1. Оптимальность по Парето	237
12.1.1. Доминирование	238
12.1.2. Граница Парето	239
12.1.3. Создание границы Парето	240
12.2. Методы ограничения	242
12.2.1. Метод ограничений	242
12.2.2. Лексикографический метод	242
12.3. Весовые методы	243
12.3.1. Метод взвешенной суммы	243
12.3.2. Целевое программирование	245
12.3.3. Метод взвешенной экспоненциальной суммы	245
12.3.4. Взвешенный метод min-max	246
12.3.5. Экспоненциально-взвешенный критерий	247

## 10 СОДЕРЖАНИЕ

12.4. Популяционные многокритериальные методы	247
12.4.1. Подпопуляции	247
12.4.2. Ранги недоминирования	249
12.4.3. Фильтры Парето	250
12.4.4. Нишевые методы	251
12.5. Выявление предпочтений	253
12.5.1. Идентификация модели	253
12.5.2. Выбор парных запросов	255
12.5.3. Выбор проекта	256
12.6. Резюме	257
12.7. Упражнения	258
<b>Глава 13. Планы выбора</b>	<b>259</b>
13.1. Полный факторный план	259
13.2. Случайный выбор	260
13.3. Планы равномерной проекции	261
13.4. Стратифицированный выбор	263
13.5. Параметры, заполняющие пространство	263
13.5.1. Несоответствие	264
13.5.2. Попарные расстояния	266
13.5.3. Критерий Морриса–Митчелла	267
13.6. Подмножества, заполняющие пространство	268
13.7. Квазислучайные последовательности	271
13.7.1. Аддитивная рекурсия	272
13.7.2. Последовательность Холтона	273
13.7.2. Последовательность Соболя	274
13.8. Резюме	275
13.9. Упражнения	276
<b>Глава 14. Суррогатные модели</b>	<b>277</b>
14.1. Обучение суррогатных моделей	277
14.2. Линейные модели	278
14.3. Базисные функции	280
14.3.1. Полиномиальные базисные функции	281
14.3.2. Синусоидальные базисные функции	282
14.3.3. Радиальные базовые функции	285
14.4. Приближение целевых функций с шумом	286
14.5. Выбор модели	287
14.5.1. Отложенные множества	290

14.5.2. Перекрестная проверка	292
14.5.3. Бутстрэп	295
14.6. Резюме	298
14.7. Упражнения	298
<b>Глава 15. Вероятностные суррогатные модели</b>	<b>299</b>
15.1. Нормальное распределение	299
15.2. Гауссовские процессы	301
15.3. Предсказание	304
15.4. Информация о градиенте	307
15.5. Информация о шуме	309
15.6. Подгонка гауссовских процессов	311
15.7. Резюме	312
15.8. Упражнения	312
<b>Глава 16. Суррогатная оптимизация</b>	<b>315</b>
16.1. Исследование, основанное на предсказании	315
16.2. Исследование на основе ошибок	316
16.3. Исследование на основе нижнего доверительной границы	316
16.4. Исследование на основе вероятности улучшения	317
16.5. Исследование на основе ожидаемого улучшения	318
16.6. Безопасная оптимизация	321
16.7. Резюме	329
16.8. Упражнения	329
<b>Глава 17. Оптимизация в условиях неопределенности</b>	<b>331</b>
17.1. Неопределенность	331
17.2. Неопределенность на основе множеств	333
17.2.1. Минимакс	333
17.2.2. Теория информационных пробелов при принятии решений	336
17.3. Вероятностная неопределенность	337
17.3.1. Ожидаемое значение	338
17.3.2. Дисперсия	339
17.3.3. Статистическая допустимость	341
17.3.4. Стоимостная мера риска	341
17.3.5. Условная стоимостная мера риска	341
17.4. Резюме	342
17.5. Упражнения	342

<b>Глава 18. Распространение неопределенности</b>	<b>345</b>
18.1. Методы выбора	345
18.2. Аппроксимация с помощью ряда Тейлора	346
18.3. Полиномиальный хаос	347
18.3.1. Одномерный случай	348
18.3.2. Коэффициенты	357
18.3.3. Многомерный случай	357
18.4. Байесовский метод Монте-Карло	359
18.5. Резюме	362
18.6. Упражнения	363
<b>Глава 19. Дискретная оптимизация</b>	<b>365</b>
19.1. Задачи целочисленного программирования	365
19.2. Округление	367
19.3. Метод секущих плоскостей	370
19.4. Метод ветвей и границ	374
19.5. Динамическое программирование	378
19.6. Муравьиный алгоритм	382
19.7. Резюме	386
19.8. Упражнения	386
<b>Глава 20. Оптимизация выражений</b>	<b>389</b>
20.1. Грамматика	389
20.2. Генетическое программирование	393
20.3. Грамматическая эволюция	397
20.4. Вероятностные грамматики	403
20.5. Вероятностные деревья прототипов	405
20.6. Резюме	412
20.7. Упражнения	412
<b>Глава 21. Междисциплинарная оптимизация</b>	<b>415</b>
21.1. Дисциплинарный анализ	415
21.2. Междисциплинарная совместимость	417
21.3. Архитектура	421
21.4. Допустимая архитектура междисциплинарного проекта	423
21.5. Последовательная оптимизация	424
21.6. Допустимая архитектура отдельной дисциплины	428

21.7. Совместная оптимизация	429
21.8. Архитектура одновременного анализа и проектирования	433
21.9. Резюме	435
21.10. Упражнения	436

## **Приложение А. Язык Julia** **439**

А.1. Типы	439
А.1.1. Логические типы	439
А.1.2. Числа	440
А.1.3. Строки	441
А.1.4. Векторы	441
А.1.5. Матрицы	443
А.1.6. Кортежи	445
А.1.7. Словари	445
А.1.8. Составные типы	446
А.1.9. Абстрактные типы	446
А.1.10. Параметрические типы	448
А.2. Функции	448
А.2.1. Именованные функции	448
А.2.2. Анонимные функции	449
А.2.3. Необязательные аргументы	449
А.2.4. Именованные аргументы	449
А.2.5. Перегрузка функций	450
А.3. Управление потоком выполнения	450
А.3.1. Условная оценка	451
А.3.2. Циклы	451
А.4. Пакеты	452

## **Приложение Б. Тестовые функции** **453**

Б.1. Функция Экли	453
Б.2. Функция Бута	454
Б.3. Функция Бранина	455
Б.4. Функция цветка	456
Б.5. Функция Михалевича	457
Б.6. Банановая функция Розенброка	458
Б.7. Гребень Уилера	459
Б.8. Функция круга	460



<b>Приложение В. Математические понятия</b>	<b>461</b>
В.1. Асимптотические обозначения	461
В.2. Разложение Тейлора	463
В.3. Выпуклость	465
В.4. Нормы	466
В.5. Матричное исчисление	468
В.6. Положительная определенность	469
В.7. Нормальное распределение	470
В.8. Метод Гаусса	470
<b>Приложение Г. Решения</b>	<b>475</b>
<b>Библиография</b>	<b>509</b>
<b>Предметный указатель</b>	<b>519</b>