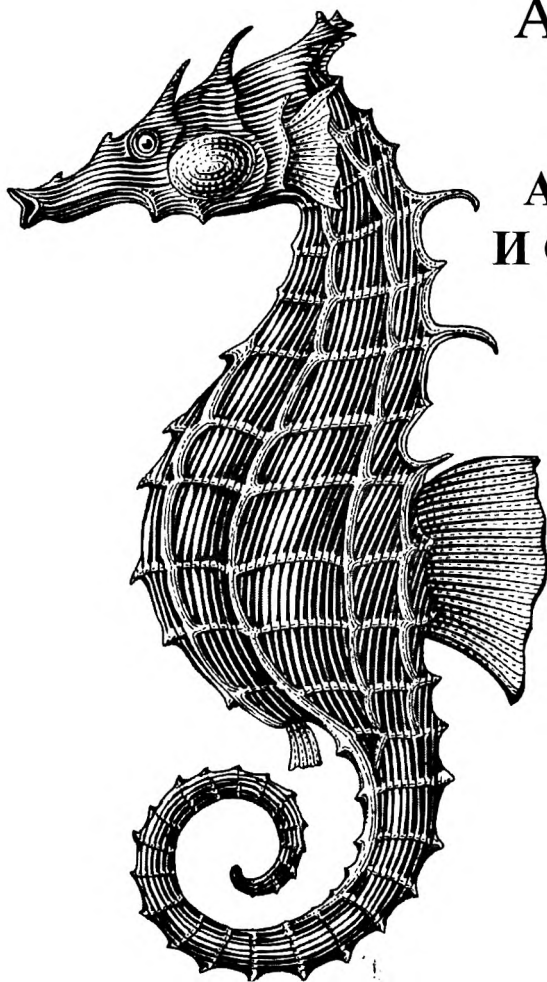


ТИМ
РАФГАРДЕН

СОВЕРШЕННЫЙ
АЛГОРИТМ

ГРАФОВЫЕ
АЛГОРИТМЫ
И СТРУКТУРЫ
ДАНЫХ



COMPUTER
SCIENCE

 ПИТЕР®

Санкт-Петербург · Москва · Минск

2022

Оглавление

Предисловие	12
О чем эта книга	13
Навыки, которые вы приобретете	15
В чем особенность книг этой серии	17
Для кого эта книга?	18
Дополнительные ресурсы	19
Благодарности	21
От издательства	21
Глава 7. Графы: основы	22
7.1. Термины	23
7.2. Несколько приложений	24
7.3. Измерение размера графа.....	25
7.3.1. Число ребер в графе.....	26
7.3.2. Разреженные и плотные графы.....	27
7.3.3. Решение тестового задания 7.1	28
7.4. Представление графа.....	30
7.4.1. Списки смежности	30
7.4.2. Матрица смежности	31
7.4.3. Сравнение представлений.....	33
7.4.4. Решения тестовых заданий 7.2–7.3	34
Задачи на закрепление материала	37

Глава 8. Поиск в графе и его применения	38
8.1. Краткий обзор	39
8.1.1. Некоторые приложения	39
8.1.2. Бесплатные графовые примитивы.....	42
8.1.3. Обобщенный графовый поиск.....	43
8.1.4. Поиск в ширину и в глубину	47
8.1.5. Правильность алгоритма GenericSearch.....	49
8.2. Поиск в ширину и кратчайшие пути	50
8.2.1. Высокоуровневая идея.....	50
8.2.2. Псевдокод для алгоритма BFS.....	52
8.2.3. Пример	53
8.2.4. Правильность и время выполнения.....	55
8.2.5. Кратчайший путь	56
8.2.6. Решение тестового задания 8.1	60
8.3. Вычисление связанных компонент.....	61
8.3.1. Связанные компоненты	61
8.3.2. Применения.....	63
8.3.3. Алгоритм УСС	63
8.3.4. Пример	65
8.3.5. Правильность и время выполнения.....	66
8.3.6. Решение тестового задания 8.2	67
8.4. Поиск в глубину.....	67
8.4.1. Пример	68
8.4.2. Псевдокод для алгоритма DFS	70
8.4.3. Правильность и время выполнения.....	72
8.5. Топологическая сортировка	73
8.5.1. Топологические упорядочивания	74
8.5.2. Когда есть топологическое упорядочивание?.....	75
8.5.3. Вычисление топологического упорядочивания	78
8.5.4. Топологическая сортировка посредством алгоритма DFS.....	79
8.5.5. Пример	81
8.5.6. Правильность и время выполнения.....	82
8.5.7. Решения тестовых заданий 8.3–8.4	84

*8.6. Вычисление сильно связных компонент	85
8.6.1. Определение сильно связных компонент	85
8.6.2. Почему поиск в глубину?	88
8.6.3. Почему обратный граф?.....	90
8.6.4. Псевдокод для алгоритма Косарайю	94
8.6.5. Пример	96
8.6.6. Правильность и время выполнения.....	98
8.6.7. Решения тестовых заданий 8.5–8.6	99
8.7. Структура Всемирной паутины	100
8.7.1. Веб-граф.....	100
8.7.2. «Галстук-бабочка»	102
8.7.3. Основные выводы	103
Задача повышенной сложности	109
Задача по программированию	109

Глава 9. Алгоритм кратчайшего пути Дейкстры **110**

9.1. Задача о кратчайшем пути с единственным истоком	111
9.1.1. Определение задачи.....	111
9.1.2. Несколько допущений.....	113
9.1.3. Почему не поиск в ширину?	113
9.1.4. Решение тестового задания 9.1	115
9.2. Алгоритм Дейкстры.....	115
9.2.1. Псевдокод	115
9.2.2. Пример	117
*9.3. Почему алгоритм Дейкстры правилен?.....	118
9.3.1. Фиктивная редукция	118
9.3.2. Плохой пример алгоритма Дейкстры.....	119
9.3.3. Правильность с неотрицательными реберными длинами	120
9.4. Реализация и время выполнения	125
Задачи на закрепление материала	127
Задача повышенной сложности	130
Задача по программированию	130

Глава 10. Куча	131
10.1. Структуры данных: краткий обзор.....	132
10.1.1. Выбор правильной структуры данных	132
10.1.2. Переход на следующий уровень.....	133
10.2. Поддерживаемые операции	135
10.2.1. Вставка и извлечение минимума	135
10.2.2. Дополнительные операции	137
10.3. Применения	138
10.3.1. Применение: сортировка.....	138
10.3.2. Применение: событийный менеджер	141
10.3.3. Применение: поддержка медианы.....	142
10.4. Ускорение алгоритма Дейкстры	144
10.4.1. Почему именно кучи?.....	144
10.4.2. План	145
10.4.3. Поддержание инварианта	148
10.4.4. Время выполнения	150
*10.5. Детали реализации	151
10.5.1. Кучи в виде деревьев.....	151
10.5.2. Кучи в виде массива	153
10.5.3. Реализация операции «Вставить» со временем $O(\log n)$	155
10.5.4. Реализация операции «Извлечь минимум» со временем $O(\log n)$	159
Задачи на закрепление материала	163
Задачи повышенной сложности	164
Задача по программированию	165
Глава 11. Дерево поиска	166
11.1. Отсортированные массивы.....	167
11.1.1. Отсортированные массивы: поддерживаемые операции	167
11.1.2. Неподдерживаемые операции.....	170
11.2. Деревья поиска: поддерживаемые операции	171
*11.3. Детали реализации	173
11.3.1. Свойство дерева поиска.....	173

11.3.2. Высота дерева поиска	175
11.3.3. Реализация операции «Отыскать» со временем $O(\text{высота})$	176
11.3.4. Реализация операций «Минимум» и «Максимум» за время $O(\text{высота})$	177
11.3.5. Реализация операции «Предшественник» со временем $O(\text{высота})$	178
11.3.6. Реализация операции «Вывести в отсортированном порядке» со временем $O(n)$	180
11.3.7. Реализация операции «Вставить» со временем $O(\text{высота})$	181
11.3.8. Реализация операции «Удалить» со временем $O(\text{высота})$	182
11.3.9. Расширенные деревья поиска для операции «Выбрать».....	186
11.3.10. Решение тестового задания 11.1	188
*11.4. Сбалансированные деревья поиска	188
11.4.1. Более напряженные усилия для улучшения баланса	188
11.4.2. Повороты	190
Задачи на закрепление материала	193
Задача по программированию	194
Глава 12. Хеш-таблицы и фильтры Блума	195
12.1. Поддерживаемые операции	196
12.1.1. Решение тестового задания 12.1	199
12.2. Применения	200
12.2.1. Применение: устранение дублирования	200
12.2.2. Применение: задача о сумме двух чисел.....	201
12.2.3. Применение: поиск в огромных пространствах состояний	205
12.2.4. Решение тестового задания 12.2	206
*12.3. Реализация: высокоуровневая идея	206
12.3.1. Два простых решения	206
12.3.2. Хеш-функции	207
12.3.3. Коллизии неизбежны	209
12.3.4. Разрешение коллизий: сцепление	211
12.3.5. Разрешение коллизий: открытая адресация	212
12.3.6. Что делает хеш-функцию хорошей?	215
12.3.7. Решения тестовых заданий 12.3–12.5	221

*12.4. Дополнительные детали реализации.....	222
12.4.1. Загрузка против результативности.....	222
12.4.2. Управление загрузкой вашей хеш-таблицы.....	225
12.4.3. Выбор своей хеш-функции.....	226
12.4.4. Выбор стратегии разрешения коллизий.....	227
12.4.5. Решение тестового задания 12.6.....	228
12.5. Фильтры Блума: основы.....	228
12.5.1. Поддерживаемые операции.....	228
12.5.2. Применения.....	231
12.5.3. Реализация.....	232
*12.6. Фильтр Блума: эвристический анализ.....	235
12.6.1. Эвристические допущения.....	236
12.6.2. Доля установленных бит (равных 1).....	238
12.6.3. Вероятность ложного утверждения.....	238
12.6.4. Кульминационный момент.....	240
12.6.5. Решение тестового задания 12.7.....	241
Задачи на закрепление материала.....	243
Задача по программированию.....	244
Приложение В. Краткий обзор асимптотической формы записи	245
В.1. Суть.....	245
В.2. Обозначение O -большое.....	246
В.3. Примеры.....	248
В.4. Обозначения Ω -большое и Θ -большое.....	250
Решения отдельных задач.....	253