

# Учебная программа по алгоритмам

## СПБАУ, первый курс, 2015/16 учебный год

---

### Первый семестр

#### **База**

1. Асимптотика. Рекуррентные соотношения. Суммы и интегралы.
2. Время работы программы. Неасимптотические оптимизации. Кеш.

#### **Простейшие структуры данных**

3. Массив фиксированного размера, списки, стек, очередь, дек, циклический массив.
4. Расширяющийся динамический массив (вектор).
5. Амортизированное время работы, различные подходы к оценке времени работы.
6. Частичные суммы, минимумы, очередь с минимумом.
7. Бинарный поиск, два указателя, алгоритм Mo.
8. Хеш-таблицы на списках и с открытой адресацией.
9. Избавление от амортизации: вектор и хеш-таблица с  $\mathcal{O}(1)$  в худшем случае.
10. Средства языка C++.
11. Бинарная куча. Сортировка кучей. Построение за линию.
12. Аллокация памяти: общий случай, стек, список, оптимизация для C++.
13. Пополняемые структуры данных (`add` → `merge`; `build` → `add`). Пополняемый массив.
14. Разбор арифметического выражения за линейное время: рекурсивный разбор, разбор со стеком.

#### **Сортировки и кучи**

15. Квадратичные сортировки: вставками, выбором, пузырьком. Стабильность. Introsort.
16. Оценка снизу на число сравнений в сортировке, при построении бинарной кучи, в других алгоритмах.
17. Сортировка слиянием, нерекурсивная версия, число инверсий.
18. Быстрая сортировка Хоара, вероятностный алгоритм поиска порядковой статистики за линейное время.
19. Детерминированный алгоритм поиска порядковой статистики за линейное время.
20. Сортировка подсчётом, цифровая сортировка, сортировка вычёрпыванием (bucket sort).
21. Adaptive Heap Sort, Kirkpatrick Sort за  $\mathcal{O}(n \log \log C)$ .
22. Merge и sort без дополнительной памяти (*inplace*).
23. Min-Max куча, Левацкая (leftist) и косая (skew) кучи, Pairing Heap.
24. Van Emde Boas Tree.
25. Биномиальная куча, куча Фибонacci.
26. Bootstrapping; ленивое добавление.

#### **Динамическое программирование**

27. Динамика: вперёд, назад, ленивая. Восстановление ответа. Ациклический граф состояний.
28. Разбор стандартных задач: НОП, НВП, расстояние Левенштейна, задача о рюкзаке.
29. Динамика по подотрезкам, по деревьям.

30. Оптимизация памяти: восстановление ответа без дополнительных ссылок, хранение двух последних строк динамики, алгоритм Хиршберга.
31. Оптимизация времени: возведение матрицы в степень, два указателя, выбор состояния динамики.
32. Оптимизация Кнута, доказательство  $p_{k-1,n} \leq p_{k,n} \leq p_{k,n+1}$  для задачи о серверах.
33. Операции с множествами, как с  $n$ -битовыми числами. Поиск старшего, младшего бита.
34. Динамика по подмножествам: задача о покрытии множества за  $\mathcal{O}(2^n m)$ , задача о покраске вершин графа за  $\mathcal{O}(2.44^n)$ , подсчёт аддитивной функции для всех подмножеств за  $\mathcal{O}(2^n n)$ .
35. Гамильтонов путь и цикл за  $\mathcal{O}(2^n n)$ . Задача коммивояжёра.
36. Динамика по профилю, по скошенному профилю.

## Графы. DFS и BFS.

37. Хранение графов: матрица смежности, `bitset`, списки смежности, мультисписок (список на массиве).
38. DFS. Поиск путей, компонент связности, циклов, проверка на двудольность.
39. Топологическая сортировка, компоненты сильной связности, конденсация графа.
40. Компоненты вершинной и рёберной двусвязности, мосты и точки сочленения.
41. Эйлеров путь/цикл, 2-SAT, 2-List-Coloring.
42. Транзитивное замыкание графа за  $\mathcal{O}(\frac{nm}{w})$  (с использованием битового сжатия).
43. BFS. Поиск кратчайшего пути в невзвешенном графе.
44. Модификации BFS для взвешенных 0-1, 1- $k$ , 0- $k$ ,  $a$ - $b$  графов.
45. NP-трудность задачи поиска простого кратчайшего пути в произвольном взвешенном графе.

## Графы. Кратчайшие пути.

46. Дейкстры, Флойд, Форд-Беллман.
47. Алгоритм A\*, оптимизации Форд-Беллмана (randomshuffle, SPFA, Левит).
48. Поянциалы. Джонсон. Гольдберг (кратчайший путь за  $\mathcal{O}(m\sqrt{n} \log N)$ ).
49. Поиск отрицательных циклов, циклом минимального среднего веса.
50. Алгоритм Карпа, алгоритм Йена.
51. Улучшение кучи для алгоритмы Дейкстры: radix heap, two level radix heap.

## DSU, MST, Жадность

52. Система непересекающихся множеств (DSU) на списках, на деревьях.
53. Доказательство времени работы DSU “обратная функция Аккермана”. Доказательство времени работы СНМ без ранговой эвристики.
54. Минимальное остовное дерево (MST): лемма о разрезе, алгоритм Краскала, алгоритм Прим, алгоритм Борувки.
55. Приближённые алгоритмы. 2-OPT и 1.5-OPT алгоритмы для задачи коммивояжёра.
56. ln  $n$ -OPT для задачи о покрытии множества. 2-OPT для вершинного покрытия.  $\frac{11}{9}$ -OPT + 1 для задачи “bin packing”.
57. Жадность. Хорновские формулы. Правило Варндорффа (гамильтонов путь и цикл).
58. Алгоритм Хаффмана. Хранение дерева
59. Задачи на сортировку, на вывод компаратора. Задача о двух станках.
60. Несколько задач из теории расписаний. Задача о выполнении максимального числа заданий с данными дедлайнами, решение за  $\mathcal{O}(n \log n)$  с доказательством.

## Второй семестр

### Деревья поиска, деревья отрезков

61. Дерево поиска: add/del, find, next/prev, прошивка дерева, хранение прямым обходом. Все операции кроме add за  $\mathcal{O}(1)$ , сортировка, lowerbound на время add:  $\mathcal{O}(\log n)$ .
62. Дерево по неявному ключу, функция на отрезке, reverse на отрезке.
63. AVL-Tree, Treap, RB-Tree, B-Tree, AA-Tree, 2-3-Tree
64. Treap: оценка средней глубины вершины и максимальной глубины вершины
65. Splay-Tree (с доказательством), Skip-List, Rope
66. Персистентность: дерево, массив, очередь, СНМ. Treap  $\rightarrow$  RBST.
67. Offline персистентность. Сборка мусора для персистентных структур.
68. Дерево отрезков. Реализации снизу, сверху. Групповые операции.
69. Дерево Фенвика. Многомерное дерево Фенвика.
70. Динамическое (разреженное) дерево отрезков. Дерево отрезков сортированных массивов.
71. Fractional cascading. Двухмерные деревья. КД-дерево.
72. Сканирующая прямая, персистентная сканирующая прямая. Обработка 2D-ортогональных запросов.
73.  $k$ -я статистика на отрезке в online за  $\mathcal{O}(\log n)$ .

### Задачи RMQ и LCA

74. RMQ. Sparse Table за  $\langle \mathcal{O}(n \log n), \mathcal{O}(1) \rangle$ , за  $\langle \mathcal{O}(n \log \log n), \mathcal{O}(1) \rangle$ , за  $\langle \mathcal{O}(n \log^* n), \mathcal{O}(\log^* n) \rangle$ .
75. LCA. Алгоритм Фараха-Колтона-Бендера:  $\text{RMQ} \xrightarrow{\mathcal{O}(n)} \text{LCA} \xrightarrow{\mathcal{O}(n)} \text{RMQ} \pm 1$ , решение  $\text{RMQ} \pm 1$  за  $\langle \mathcal{O}(n), \mathcal{O}(1) \rangle$
76. LCA. Offline алгоритм Тарьяна. LCA двоичными подъёмами.
77. LA. Offline решения. Алгоритм Вышкина за  $\langle \mathcal{O}(n), \mathcal{O}(\log n) \rangle$ . Ladder-decomposition, алгоритм за  $\langle \mathcal{O}(n), \mathcal{O}(1) \rangle$ .
78. Heavy-Light-Decomposition (HLD).
79. Centroid decomposition, функции на пути дерева.
80. Эйлеров обход: Euler-Tour-Trees, функция на поддереве, сумма на пути дерева.
81. Link-Cut-Tree.
82. Рандомизированный алгоритм для MST за  $\mathcal{O}(n + m)$ , минимум на пути дерева в offline за  $\mathcal{O}(n + m)$ .

### Графы. Паросочетания, раскраски, потоки, разрезы

83. Паросочетание, контролирующее множество, независимое множество в двудольном графе.
84. Теорема Кёнига, лемма о дополняющем пути, алгоритм Куна.
85. Классификация рёбер двудольного графа по принадлежности паросочетанию. Теорема Дилвортса. Лекс-мин паросочетание.
86. Stable matching (marriage problem).
87. Вершинные раскраски: Брукс, теоремы о 5 и 4 красках, жадные алгоритмы.
88. Рёберная раскраска: теорема и алгоритм Визинга, покраска рёбер двудольного графа.
89. Теорема и алгоритм Форда-Фалкерсона. Поиск разреза.
90. Алгоритмы Эдмондса-Карпа, масштабирования потока, Диница.
91. Теорема Карзанова, алгоритм Хопкрофта-Карпа.
92. Проталкивание предпотока. High-Level optimization. Global relabeling. Алгоритм Ахуја за  $\mathcal{O}(nm + n^2 \log U)$ .
93. Min cost flow. Использование Форд-Белмана, Дейкстры для поиска пути.
94. Min cost flow: capacity scaling, cost scaling, negative cycle canceling.
95. Венгерский алгоритм поиска паросочетания
96. Глобальный разрез: Штор-Вагнер, Каргер-Штейн.

## Строки. Базовые алгоритмы и суффиксные структуры.

97. Z-функция, prefix-функция, КМП. Алгоритм Боера-Мура.
98. Полиномиальные хеши. Рабин-Карп. Строгие оценки на вероятности, выбор хеша.
99. Задача о наибольшей общей подстроке.
100. Палиндромы: алгоритм Манакера, дерево Палиндромов.
101. Бор. Сжатый бор. Ахо-Корасик.
102. Суффиксный массив: алгоритм за  $\mathcal{O}(n)$ , алгоритм Каркайнена-Сандерса
103. Суффиксное дерево: алгоритм Укконена.
104. Суффиксный автомат.
105. Преобразования суффмассив  $\leftrightarrow$  суффдерево  $\leftrightarrow$  суффавтомат

## Игры на графах. Автоматы.

106. Ациклический граф. Циклический графа, ретроанализ.
107. Прямая сумма игр: функция Гранди.
108. Игра на дереве. АВ-отсечение.
109. Игра на полном бинарном дереве с весом игры из  $\{0, 1\}$  за  $\mathcal{O}(1.687^n)$ .
110. Проверка деревьев на изоморфизм. Проверка графов на изоморфизм.
111. Детерминированный автомат. Алгоритмы минимизации Хопкрофта, проверка на изоморфизм.

## Алгоритмы для математиков

112. Быстрое дискретное преобразование Фурье над полем корней из единицы.
113. Обратное Фурье. Два вещественных в одном. Точность вычислений.
114. Нерекурсивная реализация. Другие неасимптотические оптимизации.
115. Задачи на Фурье: поиск строк, картинок, скалярные произведения циклических сдвигов.
116. Фурье над полем остатков по простому модулю.
117. Длинная арифметика: умножение, деление, извлечение корня за  $\mathcal{O}(n \log n)$ .
118. Метод Гаусса. Ортоганализация Грамма-Шмидта. Координаты вектора в базисе.
119. Гаусс над кольцом целых чисел, кольцом остатков по непростому модулю.
120. Умножение матриц над  $\mathbb{F}_2$  за  $\mathcal{O}(\frac{n^3}{w \log n})$ .
121. Битовое сжатие для деления/умножения многочленов, Гаусса.
122. Решето Эратосфена. Расширенный алгоритм Евклида. Основные операции по модулю. КТО.
123. Проверка чисел на простоту. Тест Миллера-Рабина.
124. Первообразный корень. Дискретное логарифмирование. Извлечение корня.
125. Факторизация числа: р-эвристика; алгоритм Крайчика.